

UNIVERSIDAD CARLOS III DE MADRID
ESCUELA POLITÉCNICA SUPERIOR
DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA ELÉCTRICA



PROYECTO FIN DE CARRERA

I.T.I. Electricidad

**Protocolo de homologación de contactores
bajo las normas IEC 60077-1 e IEC 60077-2.**

AUTOR: Juan Carlos Huélamo Adrián

TUTORA: M^a. Ángeles Moreno López de Saá

Leganés, Noviembre de 2009

Índice.

| | |
|--|----|
| 1. INTRODUCCIÓN..... | 5 |
| 1.1. OBEJTIVO DEL PROYECTO..... | 5 |
| 1.2. ALCANCE DEL PROYECTO..... | 6 |
| 1.3. ESTRUCTURA DEL PROYECTO | 6 |
| 2. EL CONTACTOR..... | 9 |
| 2.1. DEFINICIÓN..... | 9 |
| 2.2. COMPONENTES DEL CONTACTOR..... | 12 |
| 2.2.1. CARCASA. | 13 |
| 2.2.2. ELECTROIMÁN. | 14 |
| 2.2.3. CONTACTOS. | 17 |
| 2.3. FUNCIONAMIENTO DEL CONTACTOR. | 19 |
| 2.4. CLASIFICACIÓN DE LOS CONTACTORES. | 20 |
| 2.4.1. CATEGORÍA DE EMPLEO..... | 21 |
| 2.5. CRITERIOS PARA LA ELECCIÓN DE UN CONTACTOR..... | 22 |
| 2.6. VENTAJAS DEL USO DE LOS CONTACTORES..... | 22 |
| 2.7. CAUSAS DEL DETERIORO DE LOS CONTACTORES. | 23 |
| 2.7.1. DETERIORO EN LA BOBINA. | 23 |
| 2.7.2. DETERIORO EN EL NÚCLEO Y ARMADURA..... | 23 |
| 2.7.3. DETERIORO EN LOS CONTACTOS..... | 24 |
| 3. PROTOCOLO SEGUIDO PARA LA HOMOLOGACIÓN SEGÚN LA NORMATIVA IEC-60077..... | 25 |
| 3.1. DESCRIPCIÓN Y CARACTERIZACIÓN DEL CONTACTOR A HOMOLOGAR. | 25 |
| 3.2. ENSAYOS A REALIZAR. | 27 |
| 3.2.1. CONDICIONES GENERALES DE ENSAYO. | 28 |
| 3.3. SECUENCIA DE ENSAYOS I..... | 29 |
| 3.3.1. LÍMITES DE OPERACIÓN. | 29 |
| 3.3.1.1. NORMATIVA..... | 29 |
| 3.3.1.2. INTERPRETACIÓN DE LA NORMATIVA ANTERIOR..... | 32 |
| 3.3.1.3. ENSAYOS REALIZADOS Y RESULTADOS OBTENIDOS. | 34 |
| 3.3.2. ENSAYO DE AUMENTO DE TEMPERATURA..... | 48 |
| 3.3.2.1. NORMATIVA..... | 48 |

| | |
|---|-----|
| 3.3.2.2. INTERPRETACIÓN DE LA NORMATIVA ANTERIOR..... | 52 |
| 3.3.2.3. ENSAYOS REALIZADOS Y RESULTADOS OBTENIDOS. | 55 |
| 3.3.3. ENSAYO DE PROPIEDADES DIELECTRICAS. | 68 |
| 3.3.3.1. NORMATIVA..... | 68 |
| 3.3.3.2. INTERPRETACIÓN DE LA NORMATIVA ANTERIOR..... | 70 |
| 3.3.3.3. ENSAYOS REALIZADOS Y RESULTADOS OBTENIDOS. | 73 |
| 3.3.4. ENSAYO DE CAPACIDAD OPERACIONAL. | 83 |
| 3.3.4.1. NORMATIVA..... | 83 |
| 3.3.4.2. INTERPRETACIÓN DE LA NORMATIVA ANTERIOR..... | 87 |
| 3.3.4.3. ENSAYOS REALIZADOS Y RESULTADOS OBTENIDOS. | 90 |
| 3.4. SECUENCIA DE ENSAYOS II..... | 103 |
| 3.4.1. VIBRACIÓN..... | 103 |
| 3.4.1.1 NORMATIVA..... | 103 |
| 3.4.1.2. INTERPRETACIÓN DE LA NORMATIVA ANTERIOR..... | 104 |
| 3.4.1.3. ENSAYOS REALIZADOS Y RESULTADOS OBTENIDOS. | 106 |
| 3.4.2. CHOQUE. | 109 |
| 3.4.2.1. NORMATIVA..... | 109 |
| 3.4.2.2. INTERPRETACIÓN DE LA NORMATIVA ANTERIOR..... | 110 |
| 3.4.2.3. ENSAYOS REALIZADOS Y RESULTADOS OBTENIDOS. | 110 |
| 3.4.3. CAPACIDAD DE SOPORTAR LAS VIBRACIONES Y LOS CHOQUES. | 112 |
| 3.4.3.1. NORMATIVA..... | 112 |
| 3.4.3.2. INTERPRETACIÓN DE LA NORMATIVA ANTERIOR..... | 112 |
| 3.4.3.3. ENSAYOS REALIZADOS Y RESULTADOS OBTENIDOS. | 113 |
| 3.5. SECUENCIA DE ENSAYOS III. | 115 |
| 3.5.1. CORRIENTES CRÍTICAS. | 115 |
| 3.5.1.1. NORMATIVA..... | 115 |
| 3.5.1.2. INTERPRETACIÓN DE LA NORMATIVA ANTERIOR..... | 115 |
| 3.5.1.3. ENSAYOS REALIZADOS Y RESULTADOS OBTENIDOS. | 115 |
| 3.6. SECUENCIA DE ENSAYOS IV. | 116 |
| 3.6.1. CONDICIONES CLIMÁTICAS..... | 116 |
| 3.6.1.1. NORMATIVA..... | 116 |
| 3.6.1.2. INTERPRETACIÓN DE LA NORMATIVA ANTERIOR..... | 125 |
| 3.6.1.3. ENSAYOS REALIZADOS Y RESULTADOS OBTENIDOS. | 129 |

| | |
|----------------------|-----|
| 4. CONCLUSIONES..... | 141 |
| 5. REFERENCIAS | 143 |
| ANEXO..... | 145 |

1. INTRODUCCIÓN

1.1. OBEJTIVO DEL PROYECTO

El objetivo del presente proyecto es la elaboración de un protocolo o plan de ensayos para la homologación de una gama de contactores que cumplan la normativa “IEC-60077 Aplicaciones ferroviarias. Equipos eléctricos para el material rodante”, en concreto la Parte 1: condiciones de servicio y normas generales [1] y la Parte 2: Componentes electrotécnicos. Reglas generales [2].

A lo largo del proyecto será necesario recurrir a otra serie de normas, a petición de las anteriormente mencionadas, para la verificación de algunos puntos. Además, en algunos casos surgen varias opciones a la hora de elegir algunas de las condiciones de ensayo, en estos casos las pautas a seguir serán las indicadas por el cliente para el cual se realiza el presente proyecto.

Todos los contactores utilizados en el proyecto son modelos comercializados con gran uso en variedad de aplicaciones eléctricas y, por tanto, ya homologados, pero bajo la norma IEC-947-4-1 Parte 4: Contactores y arrancadores de motores [3]. Esta última es menos restrictiva en algunos aspectos que la norma IEC 60077 en sus partes 1 y 2, por esto es necesario realizar todos los test o ensayos que comprueben el cumplimiento de cada uno de los puntos que en ella se describen.

La norma IEC-60077 es genérica para cualquier equipo eléctrico que sea destinado a realizar aplicaciones ferroviarias y, en concreto, para material rodante. Por ello el objetivo de este proyecto es el estudio y análisis de dicha normativa para poder aplicarla al caso particular de los contactores, y una vez analizada, proceder con los ensayos pertinentes y extraer una serie de conclusiones de los resultados obtenidos.

Para la realización de los ensayos en el laboratorio se dispone de varias muestras de dos modelos distintos de contactores. Estos modelos son los más pequeños, en lo que a tamaño y potencia se refiere, de toda la gama que deberá ser homologada siguiendo los requisitos marcados por la norma IEC-60077.

El proceso de la preparación del protocolo o plan de ensayos y la realización de los mismos son prácticamente simultáneos; una vez analizado e interpretado un punto de la norma se procederá a comprobar que el contactor lo cumple satisfactoriamente. De esta manera se pueden detectar posibles fallos en la redacción del protocolo y resolverlos o buscar soluciones para llevarlo a cabo.

Un modelo de contactor quedará totalmente homologado bajo la norma IEC-60077 si las muestras ensayadas cumplen cada uno de los requisitos marcados.

Si existen varias opciones o supuestos en la realización de un ensayo, se especifica con cuál de ellos el resultado es satisfactorio. Obviamente se suele comenzar comprobando el supuesto más restrictivo y si no se cumple se continuará con el siguiente. En el caso de que, agotando todos los supuestos posibles, algún resultado quede fuera de los valores especificados por la norma no se seguirá adelante con los ensayos, invalidando la homologación para ese modelo de contactor en particular.

1.2. ALCANCE DEL PROYECTO

El desencadenante de este proyecto es la necesidad de realizar la homologación de toda la gama de contactores de General Electric en su laboratorio ubicado en Móstoles, cumpliendo los requisitos de la norma IEC 60077. Estos requisitos son de obligado cumplimiento para el material eléctrico montado en los trenes fabricados por la empresa cliente.

Este proyecto de homologación viene precedido de un preacuerdo tomado entre la empresa fabricante de trenes y la firma americana. En él se estableció que si la gama de contactores cumple satisfactoriamente todos los requisitos exigidos en dicha normativa, estos serán los utilizados en la fabricación de los trenes.

Por este motivo se plantea crear un protocolo o plan de ensayos a seguir, que sirva para cualquier modelo de contactor de la marca. En dicho protocolo se expone cada apartado de la norma y los requisitos que se deben cumplir genéricamente.

El alcance del proyecto engloba la realización de este protocolo y la verificación del cumplimiento del mismo por los dos contactores más pequeños de la gama, en cuanto a tamaño y potencia se refiere. Queda fuera del alcance la verificación del resto de modelos de la gama de contactores.

1.3. ESTRUCTURA DEL PROYECTO

El presente proyecto consta de varias partes:

- Primeramente se realiza una introducción teórica al contactor: definición, principio de funcionamiento, componentes que lo forman, tipos que existen, aplicaciones, causas de su deterioro....
- La segunda parte es la más extensa del proyecto, consiste en la realización del protocolo de homologación. Esta parte a su vez se divide en varias, inicialmente se expone cada punto de la normativa traducida al castellano, seguidamente se interpreta dicha normativa para la correcta aplicación a un contactor y por último

se realizan los ensayos pertinentes para la verificación del cumplimiento de la norma y se exponen las conclusiones a la vista de los resultados obtenidos. Este proceso se repite con cada punto de comprobación o ensayo a realizar.

- Seguidamente se muestran las conclusiones del proyecto. En este punto se habla del trabajo realizado tanto en oficina como en laboratorio, y de las tareas pendientes de realizar apoyándose en el protocolo conseguido.
- A continuación se presentan todas las referencias de las normas utilizadas para la realización del proyecto.
- Por último se incluye un anexo con el plan de ensayos o protocolo a seguir para llevar a cabo la homologación de cualquier contactor bajo la norma IEC-60077.

2. EL CONTACTOR.

2.1. DEFINICIÓN.

Se define contactor como un aparato mecánico de conexión y desconexión eléctrica, accionado por cualquier forma de energía, menos manual, capaz de establecer, soportar e interrumpir corrientes eléctricas en condiciones normales de un circuito, incluso las de sobrecarga.

Para accionar un contactor se pueden utilizar distintas energías: mecánica, magnética, neumática, hidráulica, etc. Los contactores más utilizados en la industria son accionados mediante la energía magnética proporcionada por una bobina, y a ellos se refiere el presente proyecto.

Un contactor accionado por energía magnética, consta de un núcleo magnético (núcleo y armadura) y de una bobina que genera un campo magnético capaz de vencer las fuerzas de los muelles que mantienen separadas las dos partes del núcleo, una de estas partes, generalmente la armadura, está unida solidariamente al dispositivo encargado de accionar los contactos eléctricos.

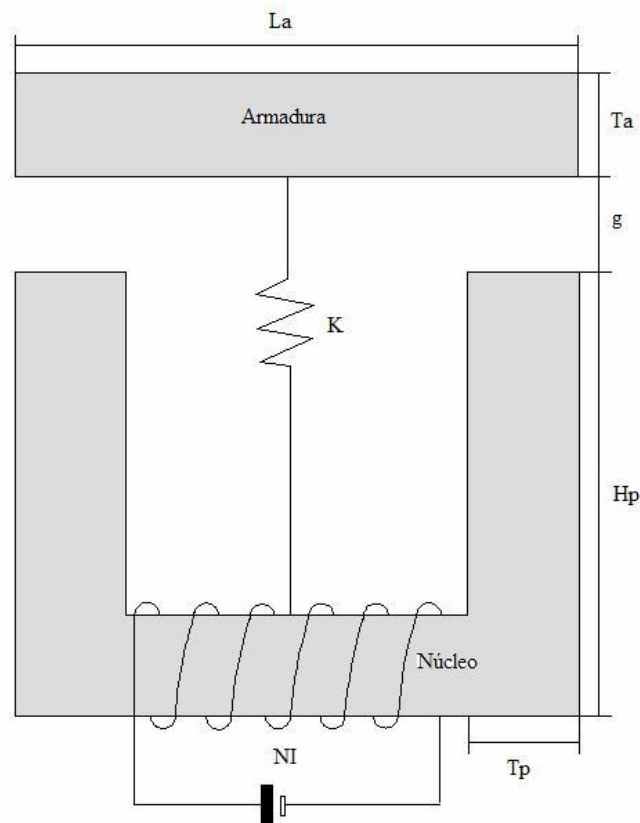


Figura 2-1: Esquema básico del funcionamiento de un contactor.

Viendo la Figura 2-1 se entiende de una manera más clara que lo que se consigue al alimentar la bobina del contactor es crear una fuerza magnética en el núcleo capaz de vencer la fuerza ejercida por el muelle, y de esta manera atraer a la armadura hasta que se une con el núcleo, quedando un espacio “g” totalmente nulo.

Expresado este proceso desde un punto de vista más físico se tiene que:

- La fuerza que ejerce un muelle depende de su constante K tal como muestra la fórmula (1).

$$F_S = KX + F_0 \quad (1)$$

Siendo:

F_S la fuerza resultante,

K la constante del muelle,

X la variación de longitud del muelle respecto su posición de reposo y

F_0 la fuerza inicial aplicada, en caso de ser nula este término se elimina.

- La fuerza que se consigue con el campo magnético creado es la que resulta al aplicar la fórmula (2).

$$F_T = \frac{1}{4} (NI)^2 \mu_0 (a/g^2) \quad (2)$$

Siendo:

F_T la fuerza magnética resultante en el electroimán,

N el número de espiras que posee la bobina,

I la corriente que circula por la bobina,

μ_0 la permeabilidad magnética del material del núcleo y la armadura,

a la sección transversal del núcleo,

g el espacio que existe entre la armadura y el núcleo en situación de reposo.

Por tanto, estudiando el contactor de una manera ideal (sin tener en cuenta fuerzas de rozamiento) en la que solo interviene la fuerza ejercida por el muelle y la creada por el electroimán, se entiende que el cierre del mismo se producirá siempre que $F_T > F_S$.

Teniendo en cuenta todos los términos, algunos con un valor fijo y otros con uno variable, se debe diseñar el contactor de tal manera que se llegue a un buen equilibrio tanto en posición abierta como cerrada, atendiendo a una distancia g suficiente pero no excesiva, a la corriente I que circulará por la bobina para que no dañe a la misma, etc.

Una de las características más importante de un contactor es la tensión nominal de la bobina de accionamiento U_n , así como la corriente I circulante por la misma, o potencia para la cual está diseñada.

Se dispone de una gran variedad de tensiones nominales, tanto en corriente continua como en alterna siendo las más utilizadas, 24 V CC, 72 V CC, 110 V CC, 230 V CC y CA y 400 V CA. La intensidad y potencia de la bobina, dependen del tamaño del contador y por tanto, de la fuerza de los muelles o resortes que deben vencer.

El tamaño de un contactor, es proporcional a la corriente eléctrica que es capaz de establecer, soportar e interrumpir, así como del número de contactos que posee (normalmente tres o cuatro). El tamaño del contactor también depende de la tensión máxima a la que trabaja el circuito que controla, pero suele ser de 230 V o 400 V para los contactores de la industria.

Referente a la intensidad o corriente nominal de un contactor, se pueden observar contactores dentro de una extensa gama, comprendida entre unidades y varios cientos de amperios. Por tanto, se puede decir que los contactores son capaces de controlar potencias dentro de un amplio margen.

Cuando un fabricante establece la corriente nominal de un contactor, lo hace para cargas puramente resistivas y garantiza un determinado número de maniobras, pero si el factor de potencia de la carga que se alimenta a través del contactor es menor que uno, el contactor ve reducida su vida, como consecuencia de los efectos destructivos del arco eléctrico (que, naturalmente, aumentan a medida que disminuye el factor de potencia).

Por lo general, los contactores que se utilizan siguen normativas y recomendaciones C.E.I. (Comité Electrotécnico Internacional), que establecen los siguientes tipos de cargas:

- AC-1 Para cargas resistivas o débilmente inductivas ($\cos \varphi = 0,95$).
- AC-2 Para cargas inductivas ($\cos \varphi = 0,65$). Arranque e inversión de marcha de motores de anillos rodantes.
- AC-3 Para cargas fuertemente inductivas ($\cos \varphi = 0,35$ a $0,65$). Arranque y desconexión de motores de jaula.
- AC-4 Para motores de jaula: Arranque, marcha a impulsos y frenado por inversión.

Casi todas las aplicaciones industriales, como máquinas, equipos para minas, trenes de laminación, puentes-grúas, compresores, etc., precisan la utilización de un gran número de motores para realizar una determinada tarea, estos motores son accionados y controlados desde un centro de control.

Estas maniobras necesitan un elemento de corte que no precise de un mando manual directo, ya que si no el operario no podría accionar los circuitos correspondientes al tiempo necesario de las secuencias de trabajo. Gracias a los contactores estos problemas se solucionan.

2.2. COMPONENTES DEL CONTACTOR.

Un contactor está formado por varias piezas o componentes, algunos de ellos están fabricados con materiales aislantes y otros con materiales conductores.

En la Figura 2-2 se representa un esquema de las partes internas de un contactor de corriente alterna, la única diferencia con uno de corriente continua sería la eliminación de los aros o espiras de sombra de los que se habla más adelante en el presente proyecto. El resto de componentes como son los contactos fijos y móviles, armadura, núcleo, muelle y bobina están presentes en ambos tipos de contactores. Todos estos componentes están fabricados principalmente con materiales conductores ya que su función es la de abrir y cerrar un circuito eléctrico gracias al funcionamiento de un electroimán. En cambio las partes accesibles en funcionamiento normal de un contactor, es decir, la carcasa está realizada con material aislante como se puede apreciar en la Figura 2-3, que representa un contactor completo totalmente listo para funcionar.

En la Figura 2-2, Figura 2-3 y Figura 2-4 se puede observar el esquema de las partes internas de un contactor, uno de los contactores estudiados en el proyecto completamente montado y el despiece interno del mismo, respectivamente.

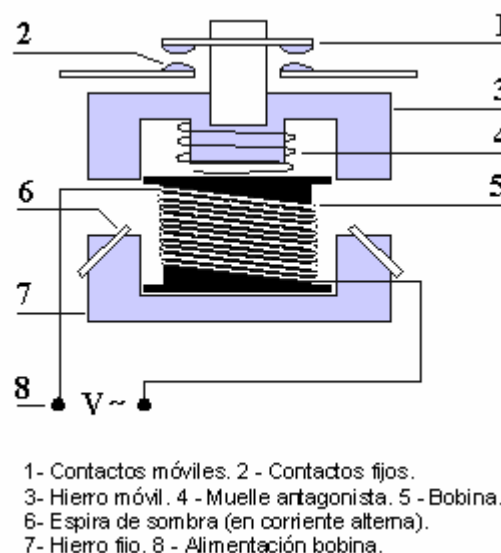


Figura 2-2: Esquema de las partes internas de un contactor de corriente alterna.

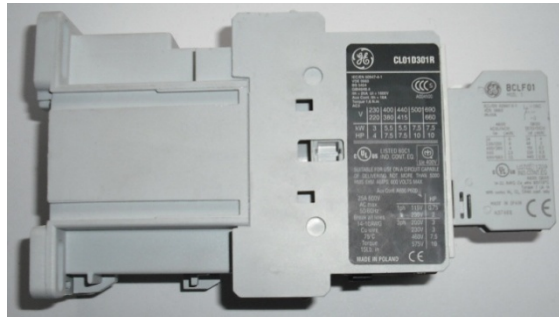


Figura 2-3: Contactor completo montado con un bloque auxiliar.



Figura 2-4: Despiece completo de un contactor.

A continuación se define y se explica la función de cada uno de los elementos vistos en el despiece de la Figura 2-4.

2.2.1. CARCASA.

La carcasa es el elemento en el que se ubican todos los componentes conductores del contactor, por ello es fabricada con materiales no conductores con buenas propiedades ante el calentamiento, y con un alto grado de rigidez dieléctrica. Uno de los materiales más utilizados es la fibra de vidrio pero tiene el inconveniente de que este material es quebradizo y por lo tanto su manipulación en el montaje y desmontaje es muy delicada. En la Figura 2-5 se muestran varias imágenes de la carcasa de un contactor.



(a)



(b)

Figura 2-5. Carcasa de un contactor: (a) Carcasa completa y (b) Zona de la carcasa donde se alojan los contactos fijos y móviles.

2.2.2. ELECTROIMÁN.

El electroimán está basado en un circuito electromagnético y es el elemento principal para el funcionamiento del contactor. Está compuesto por varios elementos, tal y como se puede apreciar en la Figura 2-6, realizados con materiales con ciertas propiedades electromagnéticas, que tienen por finalidad transformar la energía eléctrica en un fuerte campo magnético, gracias al cual se produce un movimiento mecánico longitudinal.

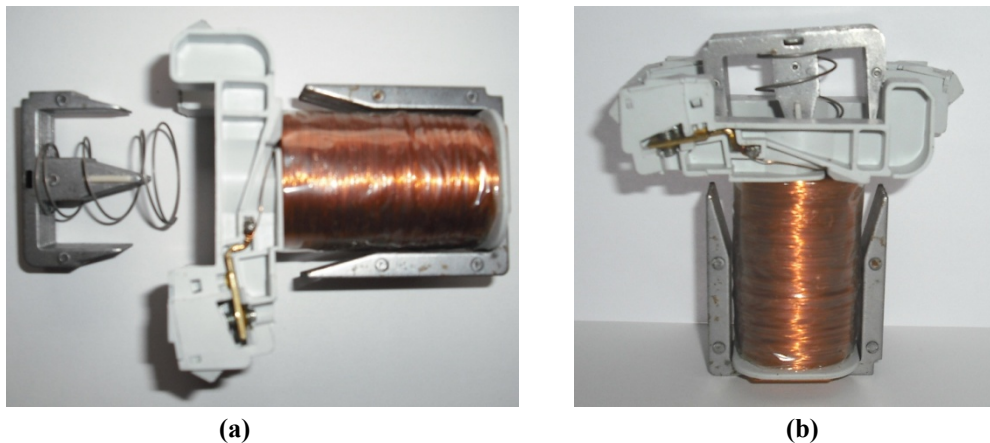


Figura 2-6. Electroimán de un contactor: (a) posición horizontal o normal de funcionamiento y (b) posición vertical.

A) BOBINA.

La bobina consiste en un arrollamiento de alambre de cobre de sección muy pequeña y con un gran número de espiras, como se puede observar en la Figura 2-7, para producir un fuerte campo magnético. Este flujo magnético produce un par magnético mayor que los pares resistentes de los muelles y así se consigue que la armadura se junte con el núcleo sólidamente.



Figura 2-7: Bobina de contactor de corriente continua.

A.1) Bobina alimentada con CA.

Al energizar los terminales de una bobina con corriente alterna, se obtiene una corriente muy alta circulando por la misma ya que solo se tiene la resistencia del hilo de cobre. Debido al entrehierro existente entre la armadura y el núcleo magnético antes del cierre, se tiene una baja reactancia inductiva en la bobina, por ello la corriente posee un alto factor de potencia, entre 0,8 y 0,9. Estas son las características de la llamada **corriente de cierre**.

La elevada corriente de cierre produce un fuerte campo magnético, capaz de vencer el par de compresión de los muelles, que mantiene separados al núcleo de la armadura, de esta manera se cierra el circuito magnético uniendo ambas partes. Como consecuencia la reactancia inductiva aumenta y la corriente disminuye hasta 10 veces, esta nueva corriente posee un factor de potencia más pequeño pero aún así es capaz de mantener al núcleo y la armadura unidos. Estas son las características de la llamada **corriente de mantenimiento**.

Para que este proceso se produzca, deben dimensionarse correctamente las bobinas para que se pueda trabajar con corrientes bajas de mantenimiento, ya que si esto no es así el contactor nunca llegará a cerrarse y la corriente de cierre circulará por el hilo de cobre demasiado tiempo pudiendo llegar a producir la rotura de la bobina.

A.2) Bobina alimentada con CC.

En este segundo caso el fenómeno anterior no se produce ya que las corrientes de cierre y de mantenimiento son la misma. La única resistencia es la de la propia bobina, por ello las características y la fabricación de estas bobinas son algo más especiales.

B) EL NÚCLEO.

El núcleo está fabricado con láminas de acero al silicio unidas firmemente para evitar la circulación de corrientes parásitas. Su función es concentrar y aumentar el flujo magnético creado por la bobina y con él atraer a la armadura.

En una bobina alimentada con corriente alterna, al pasar la corriente por cero, el núcleo tenderá a separarse de la armadura puesto que el flujo en ese momento también es cero. El paso por cero ocurre 100 veces por segundo para una frecuencia de 50 Hz, en realidad no se produce una separación sino que se genera una vibración que hace aumentar también la corriente de mantenimiento, por este motivo las bobinas alimentadas con CA están provistas de unos dispositivos llamados **aros o espiras de sombra**, los cuáles se encargan de producir un flujo magnético desfasado con respecto del principal, de manera que se obtiene un flujo total continuo similar al producido por una CC.

C) ARMADURA.

Es el elemento móvil del electroimán, su fabricación es muy similar a la del núcleo pero en cambio, la armadura no posee aros de sombra, su función principal es cerrar el circuito magnético, eliminando así el entrehierro existente en estado de reposo entre los dos bloques.

Las maniobras de apertura y cierre del circuito magnético suceden en un corto periodo de tiempo, unos 10 milisegundos aproximadamente. Este tiempo varía según las características del conjunto del electroimán y del muelle.

Pueden darse dos situaciones con un contactor mal diseñado:

- Si el par electromagnético es más débil que el par resistente del muelle, no se logrará atraer a la armadura y la corriente de cierre circulará indefinidamente por la bobina produciendo su destrucción.
- Si el par resistente del muelle no es lo suficientemente fuerte no se logrará una separación rápida de la armadura, y como los contactos tienen un movimiento solidario a ésta, se provocará una separación de contactos lenta, con formaciones de arcos eléctricos que podrían dar lugar a la fundición o pegado de contactos por soldadura.

Al energizar o desenergizar la bobina, se provoca la atracción o separación del núcleo y la armadura tal como muestra la Figura 2-8, y como los contactos móviles están unidos mecánicamente a ésta última, actúan como interruptores del paso de la corriente pero sólo en el circuito principal, ya que la unión es solo mecánica, no eléctrica.



Figura 2-8. Armadura y núcleo de un contactor de C.C.: (a) Posición abierta, (b) Posición cerrada.

En este caso concreto la Figura 2-8 muestra un núcleo y armadura de un contactor de pequeña potencia y por tanto pequeñas dimensiones, por ello la unión no se ejecuta sobre un plano perpendicular sino sobre dos oblicuos para conseguir una mayor superficie de contacto. Además se observa un pequeño cilindro de material plástico en la parte central del núcleo, este sirve para absorber el impacto que recibe por parte de la armadura sin que se produzcan daños en el núcleo con el paso del tiempo.

2.2.3. CONTACTOS.

La función de estos elementos del contactor es la de cerrar o abrir el circuito principal y/o control. Estos contactos actúan al mismo tiempo que la armadura ya que están unidos a ella, es decir, actúan según se alimenta o se deja de alimentar a la bobina. Se pueden encontrar contactos tanto en el circuito principal, diseñados para corrientes altas, como en el de control, diseñados para corrientes bajas, pero su funcionamiento es similar.

Los contactos constan de tres partes como se puede apreciar en la Figura 2-9 y la Figura 2-10, dos de ellas fijadas en la carcasa y otra móvil que establece o interrumpe la continuidad eléctrica entre las dos fijas. Para garantizar una fuerte presión de contacto la parte móvil está provista de un muelle.

Las zonas de los contactos en las que se produce la unión física entre las partes fijas y la móvil, se denominan pastillas y tienen unas características de fabricación especiales ya que los contactores pueden cerrar o abrir circuitos bajo carga, dando lugar a la formación de arcos eléctricos proporcionales a las corrientes demandadas por las cargas, estos arcos provocan altísimas temperaturas y con ello la corrosión de las pastillas, la maniobra más desfavorable para estas pastillas es la apertura de contactos y sobre todo una apertura lenta debida a la deformación de los plásticos o al desgaste del muelle.

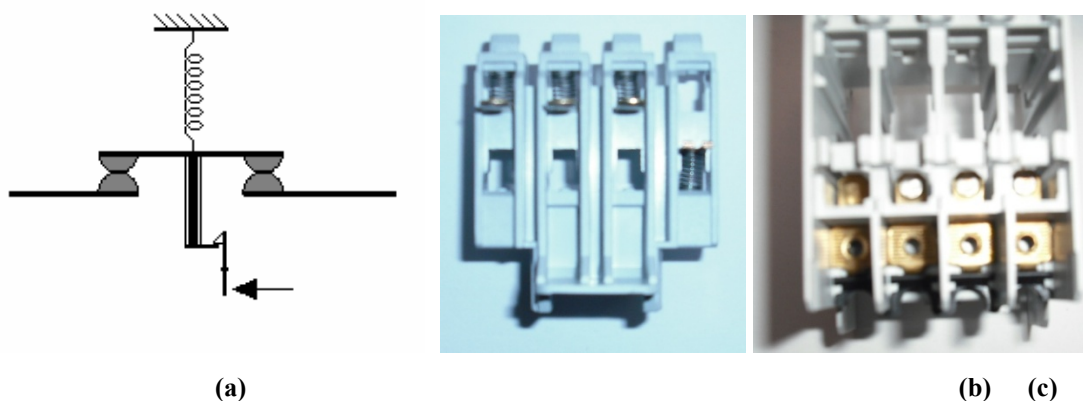


Figura 2-9. Contactos de un contactor: (a) Esquema contactos fijos y móviles, (b) Contactos móviles ubicados en la corredera del contactor, (c) Contactos fijos ubicados en la carcasa del contactor.



Figura 2-10. Despiece de contactos: (a) Contactos móviles, (b) Contactos fijos, (c) Contactos fijos y móviles.

A) CONTACTOS PRINCIPALES.

Son los contactos que establecen o interrumpen el paso de la corriente en el circuito de potencia o principal, actúan sobre la corriente que va desde la fuente a la carga conectada al contactor, corresponden con los 3 contactos inferiores de la Figura 2-10 (c).

Para que el cierre de los contactos sea fiable, la parte móvil de cada contacto está provista de un muelle que proporciona una buena presión de contacto, se consigue así que la parte móvil cierre el circuito principal antes de que el circuito magnético se cierre completamente, la diferencia de estas distancias de cierre es llamada **cota de presión** y debe ser revisada periódicamente ya que se ve afectada por el desgaste de las pastillas.

Al hacer una revisión y realizar el mantenimiento a los contactos se deben seguir las siguientes recomendaciones:

- Si un contacto o una parte del mismo está dañado, no solo hay que cambiar ese sino todos los del contactor, así se consigue que el desgaste sea similar y no cierren unos con más presión que otros provocando daños.
- Se debe respetar la cota de presión no sobrepasando el 50% del recorrido, es decir, que los contactos no tengan continuidad antes de la mitad del recorrido que hace la armadura hasta quedar unida con el núcleo.

Debido a que los contactores trabajan bajo carga, es muy importante poder extinguir el arco eléctrico que se produce entre las partes fijas y móviles en la apertura de contactos, por eso están ubicados en una cámara diseñada de tal manera que favorece la extinción de estos arcos.

B) CONTACTOS SECUNDARIOS.

Son los contactos usados en el control de todo el funcionamiento de la instalación a la que pertenecen los contactores, están diseñados para corrientes muy pequeñas porque actúan con corrientes tales como la que circula por la bobina, por elementos de señalización (bombillas de baja potencia) o control (señales de PLC), estos contactos deben tener una alta fiabilidad ya que actúan en el control. Corresponden con el contacto superior de la Figura 2-10 (c).

El gran uso que se le da a los contactores y su versatilidad depende de un correcto diseño en el circuito de control, usando estos contactos auxiliares secundarios o auxiliares. Estos contactos pueden estar integrados en la propia carcasa del contactor y unidos solidariamente a la armadura al igual que los principales o ser un accesorio que se une mecánicamente a la carcasa y la corredera del contactor.

Hay dos tipos de contactos secundarios:

- **Contacto normalmente abierto:** (NA o NO), en estado de reposo está abierto, es decir, entre sus terminales no hay continuidad, está diseñado de tal manera que al alimentar a la bobina éste se cierre mecánicamente cerrando así un circuito de control o señalización.
- **Contacto normalmente cerrado:** (NC), en estado de reposo está cerrado, es decir, entre sus terminales hay continuidad, está diseñado de tal manera que al alimentar a la bobina éste se abra mecánicamente abriendo así un circuito de control o señalización.

2.3. FUNCIONAMIENTO DEL CONTACTOR.

Cuando se alimenta la bobina a su tensión nominal se genera un fuerte campo magnético en el núcleo, este campo atrae a la armadura hasta que se elimina el entrehierro por completo en cuestión de milisegundos. Al producirse este movimiento todos los contactos, tanto los principales como los secundarios, cambian de estado, los contactos NO se cierran y los NC se abren.

Hay dos características principales a tener en cuenta a la hora de elegir un contactor para una instalación:

- **Poder de cierre:** Es la corriente que un contactor puede establecer, es decir, la que puede circular en el momento que los contactos se cierran sin peligro de que éstos se suelden, se quemen, o se separen debido a las fuerzas de repulsión creadas por los transitorios.

- **Poder de corte:** Es la corriente que el contactor puede cortar o interrumpir, es decir, la que estando el contactor cerrado no causa daños en los contactos o en los elementos aislantes cuando el circuito se abre. El poder de corte es más débil cuanto más grande es la tensión de la instalación.

Cuando se deja de alimentar la bobina del contactor para que los contactos vuelvan a su estado de reposo se producen picos de tensión de altas frecuencias, estos picos pueden dañar aparatos de control como PLC's, por eso es importante usar elementos electrónicos que reduzcan estos picos y eviten daños.

El elemento de mayor importancia en el funcionamiento del contactor es la bobina, en cambio respecto a sus aplicaciones los contactos son los elementos a los que hay que prestar más atención.

2.4. CLASIFICACIÓN DE LOS CONTACTORES.

Existen varias clasificaciones de contactores, en base a:

- **Su construcción:**

Contactor electromecánico: Ya descritos a lo largo del presente proyecto y con un funcionamiento en base a leyes magnéticas, eléctricas y mecánicas.

Contactor neumático: Opera gracias al movimiento de un cilindro neumático de simple efecto que acciona una cámara de contactos similar a la de un contactor electromecánico.

Contactor hidráulico: Se consigue su apertura o cierre gracias a la presión de un líquido con un funcionamiento similar al neumático.

Contactor estático: Su funcionamiento está basado en el de los tiristores, pero tienen grandes inconvenientes tales como un dimensionamiento muy superior a lo necesario, disipan mucha potencia, presentan una corriente de fuga importante y su coste es muy superior al del resto de contactores.

- **El tipo de corriente eléctrica que alimenta la bobina:**

Contactores con bobina de AC.

Contactores con bobina de DC.

- **Los contactos que posee:**

Contactores principales para usos de potencia.

Contactores auxiliares para usos en el control de instalaciones.

- **Su categoría de empleo:**

Se clasifican según la corriente que pueden establecer y cortar sin daños en sus partes conductoras o aislantes.

2.4.1. CATEGORÍA DE EMPLEO.

Para acotar la categoría del empleo de un contactor hay que tener en cuenta la carga que va a controlar y en qué condiciones se establece y se corta la corriente.

La clasificación para contactores con corrientes AC es:

- AC1: se usa con cargas resistivas o ligeramente inductivas, con un factor de potencia igual o mayor a 0,95. Por ejemplo: calefacción eléctrica.
- AC2: se usa para controlar motores de anillos, su arranque y frenado en contracorriente. Cuando el contactor se cierra la corriente de arranque que pasa por sus contactos es 2,5 la corriente nominal del motor aproximadamente, en su apertura debe poder cortar esta misma intensidad. Usos con un factor de potencia en torno a 0,65. Por ejemplo: Motores eléctricos para mezcladoras y máquinas centrifugadoras.
- AC3: se usa para controlar motores de jaula de ardilla con paradas a plena marcha. Cuando el contactor se cierra la corriente de arranque que pasa por sus contactos es 6 veces la corriente nominal del motor aproximadamente, en su apertura la corriente que corta es la nominal de dicho motor. Usos con un factor de potencia en torno a 0,35. Por ejemplo: Motores asíncronos para aparatos de aire acondicionado, compresores, ventiladores.
- AC4: se usa para controlar el arranque y el frenado en contracorriente de motores de jaula de ardilla. Cuando el contactor se cierra la corriente de arranque que pasa por sus contactos es 6 veces la nominal del motor aproximadamente, en su apertura la corriente es la nominal del motor pero a una tensión muy superior que en AC3 proporcional a la velocidad del motor. Usos con un factor de potencia en torno a 0,35. Por ejemplo: motores asíncronos para grúas y ascensores.

En corriente continua se encuentran cinco categorías de empleo: DC1, DC2, DC3, DC4 y DC5. La explicación de estas categorías quedan fuera del alcance del proyecto.

Un mismo contactor, dependiendo de la categoría de empleo, puede usarse con diferentes corrientes.

2.5. CRITERIOS PARA LA ELECCIÓN DE UN CONTACTOR.

Para la elección de un contactor adecuado es necesario conocer las características del receptor y de la instalación en la que funcionará dicho contactor, tales como:

- Corriente AC o DC y tensión de la instalación.
- Potencia nominal y factor de potencia de la carga.
- Uso en una instalación de potencia o uso en control y número de contactos secundarios que se necesitan.
- Frecuencia de actuación del contactor y ambiente en el que va a trabajar.
- Categoría de empleo.

2.6. VENTAJAS DEL USO DE LOS CONTACTORES.

Los contactores poseen diversas características que hacen que su uso en algunos casos sea ventajoso, con por ejemplo:

- Automatizar el arranque y paro de motores.
- Posibilidad de controlar completamente una máquina, desde varios puntos de control.
- Se puede maniobrar en circuitos que operan con altas corrientes, controlando estas corrientes con otras mucho más pequeñas (las que alimentan a las bobinas del contactor).
- Se consigue una buena seguridad del personal que manipula la instalación, ya que el control se realiza desde centros alejados de las cargas, y las corrientes y tensiones que se manejan son relativamente pequeñas.
- Ahorran tiempo al realizar maniobras repetitivas.

2.7. CAUSAS DEL DETERIORO DE LOS CONTACTORES.

Cuando la instalación eléctrica a la que pertenece un contactor empieza a fallar o deja de funcionar de forma adecuada, se debe revisar el circuito de control y el de potencia, revisando cables, contactos y tornillos ya que se pueden soltar o aflojar debido a los golpes mecánicos producidos en las maniobras de apertura y cierre. Si pese a esto los fallos persisten se deben comprobar también los siguientes elementos del contactor.

2.7.1. DETERIORO EN LA BOBINA.

- La tensión de alimentación de la bobina debe ser la especificada por el fabricante de la misma, con una tolerancia del 10 %, ya que si se supera este valor circulará una corriente más alta de lo debido por la bobina causando la destrucción de la misma.
- Si existen, en el circuito de control, caídas de tensión frecuentes y cortas, se deben usar condensadores en paralelo con la bobina para que la tensión de ésta no varíe constantemente causando daños.
- Si el cierre entre el núcleo y la armadura no se produce debidamente y por completo, por la bobina circulará una corriente más alta que la de mantenimiento, provocando un calentamiento excesivo hasta provocar su destrucción.

2.7.2. DETERIORO EN EL NÚCLEO Y ARMADURA.

Debido al uso continuado de un contactor se puede producir un funcionamiento ruidoso causado porque la armadura y el núcleo no se juntan ni separan adecuadamente, por este motivo es necesario mirar los siguientes puntos a lo largo de la vida útil de un contactor:

- La tensión de alimentación de la bobina, si es inferior a la especificada por el fabricante, se crea un campo magnético demasiado débil, sin fuerza suficiente para atraer completamente a la armadura, produciendo una vibración.
- El muelle, debido al uso continuado del contactor puede perder fuerza y no tener la suficiente como para producir una buena de separación entre el núcleo y la armadura, o por el contrario ponerse demasiado tenso e impedir que se junten.
- Deterioro en los aros de sombra, provocando así vibraciones y un mal cierre de contactos.

2.7.3. DETERIORO EN LOS CONTACTOS.

Debido al uso continuado de un contactor bajo carga se producen arcos eléctricos en los contactos que dan lugar a su deterioro, para que esto no se produzca prematuramente es bueno comprobar:

- Que el contactor de la instalación tiene una potencia nominal similar o superior a la del motor o carga conectada, y que funciona con una frecuencia apropiada a sus especificaciones.
- El circuito de control. Si el contactor es elegido acorde con las características de la carga, la causa de un deterioro prematuro de los contactos puede ser debida a fallos en el circuito de control, provocando un mal funcionamiento del circuito electromagnético.
- Que no se producen caídas de tensión debidas a la demanda de grandes corrientes en arranques de motores, ya que estas caídas provocan un mal funcionamiento del circuito magnético y se obtiene una baja presión de contactos dando lugar a su deterioro o pegado por soldadura. Este supuesto se da cuando hay cortes de tensión en una instalación y al reponerse el servicio todos los motores arrancan simultáneamente, para que esto no suceda hay que instalar elementos que controlan el tiempo que tiene que transcurrir entre los arranques de un motor y otro.
- Que la red no sufre microcortes de tensión, ya que cuando el contactor vuelve a cerrarse por sus contactos puede llegar a circular una corriente muy superior que la nominal, y si esto se produce repetidamente provoca calentamiento o incluso soldadura de contactos. Este problema se puede evitar con un dispositivo que retrase unos segundos el nuevo cierre tras un microcorte, si la aplicación lo permite.
- Que no existe vibración en el circuito electromagnético por motivos ya explicados anteriormente, esto provoca vibraciones en los cierres dando lugar al deterioro los contactos o la soldadura de los mismos.

3. PROTOCOLO SEGUIDO PARA LA HOMOLOGACIÓN SEGÚN LA NORMATIVA IEC-60077.

3.1. DESCRIPCIÓN Y CARACTERIZACIÓN DEL CONTACTOR A HOMOLOGAR.

Inicialmente antes de empezar a analizar la normativa y realizar los ensayos, se deben caracterizar los contactores a homologar para tener claro en qué rango de valores de corrientes, tensiones, frecuencias, temperaturas, etc, se va a trabajar seguidamente en el laboratorio. Por ello, se exponen, a continuación, los datos de los dos contactores utilizados para la elaboración de este protocolo de homologación según la normativa IEC 60077-1 [1] e IEC 60077-2 [2].

Contactor 1: modelo CL25D300R

Número de polos: 3

Medio de interrupción: Aire

Método de operación: Electromagnético

Circuito principal:

- Número de polos: 3
- Tensión nominal de aislamiento (U_i): 1000 V.
- Corriente térmica convencional (I_{th}): 45 A
- Máxima tensión nominal de funcionamiento (U_e): 600 V
- Máxima corriente nominal de funcionamiento (I_e): 45 A para AC1 (cargas resistivas) y 25 A para AC3 (motores trifásicos).
- Potencias admisibles: 7,5 kW para una tensión de 230 V, 11 kW para una tensión de 400 V, 11 kW para una tensión de 440 V, 15 kW para una tensión de 525 V.

Circuito de control:

- Clase de corriente: DC
- Frecuencia nominal: 0 Hz
- Tensión nominal de alimentación circuito de control (U_s): 24 V, 72 V y 110 V.

Circuito auxiliar.

- Número de polos: 0
- Tipo de contactos: -
- Corriente térmica convencional: -

Contactor 2: modelo CL01D301R

Número de polos: 4

Medio de interrupción: Aire

Método de operación: Electromagnético

Circuito principal:

- Número de polos: 3
- Tensión nominal de aislamiento (U_i): 1000 V.
- Corriente térmica convencional (I_{th}): 25 A
- Máxima tensión nominal de funcionamiento (U_e): 600 V
- Máxima corriente nominal de funcionamiento (I_e): 25 A para AC1 (cargas resistivas) y 12 A para AC3 (motores trifásicos).
- Potencias admisibles: 3 kW para una tensión de 230 V; 5,5 kW para una tensión de 400 V; 5,5 kW para una tensión de 440 V; 7,5 kW para una tensión de 525 V.

Circuito de control:

- Clase de corriente: DC
- Frecuencia nominal: 0
- Tensión nominal de alimentación circuito de control (U_s): 24 V, 72 V y 110 V.

Circuito auxiliar.

- Número de contactos: 1
- Tipo de contactos: NC (normalmente cerrado)
- Corriente térmica convencional: 16 A.

3.2. ENSAYOS A REALIZAR.

Tipos de ensayo:

- Se aplica la normativa referente de las normas internacionales **IEC 60077-1** [1] e **IEC 60077-2** [2].

Secuencia de ensayos:

- Los ensayos del mismo tipo se agrupan en una serie de secuencias, como se muestra en la Tabla 3-1.
- Para las secuencias I y II, las pruebas se llevarán a cabo en el orden indicado.
- Una nueva muestra puede ser utilizada en cada secuencia, pero no es necesario si los ensayos anteriores no han sido destructivos.

| Secuencia de ensayo | Ensayo | Capítulo de la norma |
|---|---|----------------------|
| I Características generales de rendimiento. | Límites de operación. Aumento de temperatura. Propiedades dieléctricas. Capacidad operacional. Verificación de propiedades dieléctricas. Verificación de aumento de temperatura. | 9.3.3 |
| II Capacidad de soportar las vibraciones y los choques. | Vibraciones. Choques. Verificación de funcionamiento mecánico. Verificación de propiedades dieléctricas. | 9.3.4 |
| III Corrientes críticas (si es necesario) | Búsqueda de las corrientes críticas. | 9.3.5 |
| IV Condiciones climáticas (si es necesario) | Pruebas ambientales (calor seco, calor húmedo, frío, etc) | 9.3.6 |
| V Otros ensayos (si es necesario) | Compatibilidad electromagnética (CEM). Emisión de ruido acústico. Periodo corto de tiempo sin corriente. Cortocircuito. | 9.3.7 |

Tabla 3-1: Secuencias de ensayos.

3.2.1. CONDICIONES GENERALES DE ENSAYO.

Las secuencias I, II y III se realizan con las mismas muestras.

Salvo indicación de lo contrario, las pruebas se efectuarán con los valores nominales de funcionamiento (corriente, voltaje, presión de aire) para todos los circuitos (principal, auxiliar y de control).

Los valores registrados en el informe de ensayo deben estar dentro de las tolerancias que figuran en la Tabla 3-2, salvo que se especifique en las cláusulas pertinentes. Sin embargo, de acuerdo con el fabricante, los ensayos pueden efectuarse con condiciones más severas que las especificadas en la Tabla 3-2.

| Todos los ensayos. | Ensayos sin carga, bajo carga normal o bajo sobrecarga. | Ensayos bajo condiciones de corto circuito. |
|--|--|---|
| Duración del ensayo: $\pm 5\%$ | | |
| Corriente: 0,+5 % Tensión: 0,+5 % Circuito de control y auxiliar: Tensión: 0,+5 % | Factor de potencia: $\pm 0.05\%$ Constante de tiempo: 0,+15 % Frecuencia: $\pm 5\%$ | Factor de potencia: 0, -0.05% Constante de tiempo: 0,+25 % Frecuencia: $\pm 5\%$ |

Tabla 3-2: Tolerancias máximas permitidas en la realización de ensayos.

Las muestras de pruebas se montan en un recinto que representa a las condiciones de la instalación cuando sean prescritos por el fabricante o, alternativamente, en las condiciones de instalación previstas en el material rodante que se examina.

3.3. SECUENCIA DE ENSAYOS I.

3.3.1. LÍMITES DE OPERACIÓN.

3.3.1.1. NORMATIVA.

Para la realización del presente proyecto es necesaria la extracción de los artículos de la normativa bajo la cual se quiere homologar la gama de contactores, por ello a lo largo de su redacción y antes de cada ensayo, se exponen los apartados de la normativa referentes a cada punto de verificación y el punto o capítulo de la norma a la que corresponden.

De la norma IEC. 60077-2 [2] se extrae:

9.3.1 Límites de operación.

La verificación de los límites operativos se efectuará con las pruebas de rutina. Las pruebas se llevarán a cabo tanto en el punto más bajo de temperatura ambiente en el que el aparato pueda estar en servicio (o en la que se pueda lograr un correcto funcionamiento), como a la temperatura más alta que puede alcanzar en servicio.

Algunos equipos como, por ejemplo, transformadores, motores, cabinas, etc. sólo están sujetos a pruebas climáticas mediante un acuerdo entre el fabricante y el usuario.

Las pruebas de comprobación consisten en una sucesión de 20 veces del accionamiento del aparato, para cada combinación de temperatura y tensión. Después de la estabilización de la temperatura, el aparato funcionará correctamente dentro de los límites de la tensión de alimentación y condiciones climáticas que se especifican en 8.2.1 de la norma IEC. 60077-1 [1].

La comprobación verificará, además, que el funcionamiento del equipo sigue siendo satisfactorio cuando se lleven a cabo las pruebas, bajo la combinación más desfavorable de tensión y condiciones climáticas que pueden obtenerse dentro de los límites especificados en 8.2.1. de la norma IEC. 60077-1 [1]. En el caso de que el equipo pueda operar en diferentes frecuencias, la frecuencia de ensayo deberá ser especificada.

En relación con lo anterior la norma IEC. 60077-1 [1] marca:

8.2.1 Condiciones de operación.

8.2.1.1 General.

Todos los valores límite de la tensión de alimentación, temperatura del aire, etc. que pueden influir en el funcionamiento del equipo pueden aparecer simultáneamente. Todo el equipo deberá funcionar satisfactoriamente en la peor combinación de estos valores límite. Los requisitos que se deben aplicar con la temperatura del aire ambiente se definen en 8.2.2.2.

8.2.2.2 La temperatura del aire ambiente (T_a).

La determinación de los límites de temperatura se basa en la temperatura de referencia $T_r = 25\text{ °C}$.

El aire ambiente se considerará como el que rodea al dispositivo, y varía según el lugar en que el dispositivo esté instalado. Para los espacios abiertos o exteriores, la temperatura del aire ambiente T_a es la temperatura de referencia T_r .

Para los espacios cerrados o interiores, la temperatura del aire ambiente T_a es la temperatura de referencia más el aumento de la temperatura del aire, debido al aumento térmico ocasionado por las pérdidas después de tener en cuenta las condiciones normales de refrigeración.

Para cada una de las partes internas de la carrocería, motor, cabina, etc. la temperatura del aire puede ser diferente. Cuando este valor no está en un documento, se considerará que la temperatura no excede de 30 °C durante el funcionamiento. La temperatura del aire ambiente se considera entonces $T_a = T_r + 30^\circ = 55\text{ °C}$ y, por tanto, la temperatura máxima esperada podrá ser de 70 °C ($15\text{ °C} + 25\text{ °C} + 30\text{ °C}$).

La cláusula 8.2.1 de la norma IEC 60077-1 [1], se aplica a su vez con las condiciones adicionales siguientes de la norma IEC 60077-2 [2]:

A) Todos los componentes tras la estabilización de la temperatura del aire ambiente, a -25 °C , deberán ser capaces de funcionar correctamente dentro de los valores límite de la tensión de los equipos.

B) Los componentes alimentados por contacto con una línea en tensión, transformador, generador, alternador, convertidor o batería (véanse subcláusulas 8.2.1.2 a 8.2.1.4 y 8.2.1.6 de la norma IEC 60077-1 [1]).

b.1) El componente diseñado para una temperatura del aire ambiente T_a (25 °C ó 55 °C) será capaz de funcionar correctamente dentro de los valores límite de tensión del equipo después de la estabilización de la temperatura bajo:

- El suministro permanente a la máxima tensión del equipo.
- La limitación de la temperatura del aire ambiente igual a $(T_a + 15)$ °C.

C) Los componentes alimentados desde una batería en carga flotante (véase la subcláusula 8.2.1.5 de la norma IEC 60077-1 [1]).

c.1) El componente diseñado para una temperatura del aire ambiente T_a (25 °C o 55 °C) será capaz de funcionar correctamente dentro de un rango de 0,7 a 1,25 veces la tensión nominal de los equipos, U_n , después de la estabilización de la temperatura bajo:

- El suministro permanente a la tensión nominal del equipo.
- La limitación de la temperatura del aire ambiente igual a $(T_a + 15)$ °C.

c.2) Y dentro de un rango de 0,8 a 1,25 veces la tensión nominal de los equipos, U_n , después de la estabilización de la temperatura bajo:

- El suministro permanente de 1,1 veces la tensión nominal del equipo.
- La limitación de la temperatura del aire ambiente igual a $(T_a + 15)$ °C.

Según dicta la subcláusula 8.2.1 B se atiende a los siguientes apartados de la norma IEC 60077-1 [1]:

8.2.1.2 Línea de contacto.

El equipo que se abastece directamente de una línea de contacto deberá operar satisfactoriamente en cualquier valor de tensión de alimentación.

8.2.1.3 Sistema de alimentación por transformadores.

El equipo que se alimenta a través de un transformador deberá operar satisfactoriamente en cualquier valor de tensión de abastecimiento multiplicado por el coeficiente de transformación (o coeficientes).

8.2.1.4 Generador impulsado independientemente, alternador o convertidor.

Equipo que se alimenta a partir de un generador impulsado independiente, alternador o convertidor funcionará satisfactoriamente cuando la tensión se mantenga en el rango 1,1 a 0,85 U_n .

Fluctuaciones de tensión entre 0,7 y 1,25 U_n y no superior a 1 s no causan la desviación de la función. Fluctuaciones de tensión entre 0,6 y 1,4 U_n y no superior a 0,1 s no causan daños.

8.2.1.5 Batería en carga flotante.

El equipo que se alimenta a partir de una batería en carga flotante funcionará satisfactoriamente cuando la tensión se mantenga en el rango $1,25$ a $0,7 U_n$.

Fluctuaciones de tensión (por ejemplo, durante la puesta en marcha de los equipos auxiliares) situadas entre $0,6$ y $1,4 U_n$ y no superiores a $0,1$ s no causan la desviación de la función.

Fluctuaciones de tensión que se encuentra entre $1,25 U_n$ y $1,4 U_n$ y no superiores a 1 s no causan daños.

8.2.1.6 Batería.

El equipo que se abastece exclusivamente a partir de una batería deberá operar satisfactoriamente cuando se alimenta en el rango $0,7$ a $1,1 U_n$.

3.3.1.2. INTERPRETACIÓN DE LA NORMATIVA ANTERIOR.

En el presente proyecto, sólo es necesario ensayar según advirtió el cliente, los supuestos de una alimentación desde un generador independiente y el de alimentación desde una batería en carga flotante.

Al analizar los valores del apartado anterior se puede notar que el caso más desfavorable es el supuesto de alimentar un dispositivo desde una batería en carga flotante, ya que el rango de tensión de alimentación es más amplio y va desde $0,7 U_n$ a $1,25 U_n$. Por tanto, los ensayos comienzan bajo esta premisa ya que si son satisfactorios los resultados, es obvio que también lo serán para el caso de dispositivos alimentados desde un generador independiente con un rango de alimentación de $0,85 U_n$ a $1,1 U_n$.

La experiencia en el laboratorio y otras series de normativas establecen que un buen tiempo de estabilización de la temperatura para los equipos ensayados en este tipo de cámaras climáticas puede ser en torno a 2 horas, por este motivo la comprobación de un cierre fiable se hace 2 horas después de que la cámara indique que se ha llegado a la temperatura de ensayo.

El supuesto más crítico que valida todos los siguientes casos es ensayar los contactores con el máximo número de bloques auxiliares, caso más desfavorable para el funcionamiento de un contactor, ya que se suma a la fuerza de los muelles internos del contactor la de los muelles de los bloques auxiliares. En este caso el cliente fija el criterio de ensayar con un solo bloque auxiliar ya que en realidad operaría en estas condiciones.

Las condiciones de temperatura que se deben usar en los ensayos vienen descritas en el apartado de temperatura del aire ambiente 8.2.2.2 y el valor de temperatura de ensayo, T_e , depende en el caso de altas temperaturas, de donde vaya a estar situado realmente en la máquina ferroviaria el contactor a ensayar.

Como se puede observar en la Tabla 3-3 se hace una distinción entre dispositivos que vayan a realizar su función en un ambiente abierto o exterior, y dispositivos que vayan a operar en ambientes cerrados o interiores.

| Temperaturas | T_r (°C) | T_a (°C) | T_e (°C) |
|-------------------|------------|------------|------------|
| Ensayo baja T^a | - | - | -25 |
| Ambiente abierto | 25 | 25 | 25+15 |
| Ambiente cerrado | 25 | 25+30 | 25+30+15 |

Tabla 3-3: Temperaturas fijadas para la realización de los ensayos.

En el caso de bajas temperaturas, los ensayos se realizan sin alimentar la bobina a lo largo del tiempo de estabilización térmica ya que así se evita disipación de calor, lo que haría que el contactor no llegue realmente a la temperatura de -25°C.

En el caso de altas temperaturas, la tensión de alimentación de la bobina del contactor varía en cada ensayo, según la forma de alimentación que vaya a tener el contactor en la máquina ferroviaria, estos valores se quedan reflejados en la Tabla 3-4.

| Condiciones de temperatura y tensión | Batería en carga flotante | Generador independiente |
|--|---------------------------|-------------------------|
| Ensayo $T_e = -25$ °C Min tensión alimentación=0,7 U_n Max tensión alimentación= 1,25 U_n | $V_{bobina} = 0V$ | $V_{bobina} = 0V$ |
| Ensayo $T_e = 40$ °C o 70 °C Min tensión alimentación=0,7 U_n Max tensión alimentación= 1,25 U_n | $V_{bobina} = U_n$ | No aplicable |
| Ensayo $T_e = 40$ °C o 70 °C Min tensión alimentación=0,8 U_n Max tensión alimentación= 1,25 U_n | $V_{bobina} = 1,1 U_n$ | No aplicable |
| Ensayo $T_e = 40$ °C o 70 °C Min tensión alimentación=0,8 U_n Max tensión alimentación= 1,25 U_n | No aplicable | $V_{bobina} = U_n$ |

Tabla 3-4: Valores de tensión aplicables en cada ensayo de límites de operación.

El ensayo resultará satisfactorio si se consigue un cierre completo y fiable del contactor a lo largo de una sucesión de 20 accionamientos con cada combinación de temperatura y tensión.

Estudiada y comprendida toda esta normativa, los ensayos realizados para la verificación del cumplimiento de este apartado de la norma, y los resultados obtenidos junto con el análisis de los mismos, se explican a continuación.

3.3.1.3. ENSAYOS REALIZADOS Y RESULTADOS OBTENIDOS.

Primeramente, antes de realizar ningún ensayo se deben identificar cada una de las muestras de las que se dispone para llevar a cabo el proyecto, cada muestra se etiqueta y numera como se indica en la Tabla 3-5 para llevar un control absoluto sobre ellas.

| CL 25 | | CL 01 | |
|------------|---------------------|------------|---------------------|
| Numeración | V _{bobina} | Numeración | V _{bobina} |
| 1 | 110 V | 13 | 110 V |
| 2 | 110 V | 14 | 110 V |
| 3 | 110 V | 15 | 110 V |
| 4 | 110 V | 16 | 110 V |
| 5 | 72 V | 17 | 72 V |
| 6 | 72 V | 18 | 72 V |
| 7 | 72 V | 19 | 72 V |
| 8 | 72 V | 20 | 72 V |
| 9 | 24 V | 21 | 24 V |
| 10 | 24 V | 22 | 24 V |
| 11 | 24 V | 23 | 24 V |
| 12 | 24 V | 24 | 24 V |

Tabla 3-5: Numeración del etiquetaje de las muestras a ensayar.

Para la realización de este ensayo de límites de operación se necesita el siguiente material de laboratorio:

Fuente variable de tensión.

Varias tomas de corriente alterna y 220 V.

Cámara climática.

Cableado y clemas necesarios.

6 Interruptores de apertura en carga.

Pilotos de señalización para reflejar el estado del contactor.

12 muestras de contactor modelo CL25 (4 de 110 V, 4 de 72 V, 4 de 24 V)

12 muestras de contactor modelo CL01 (4 de 110 V, 4 de 72 V, 4 de 24 V)

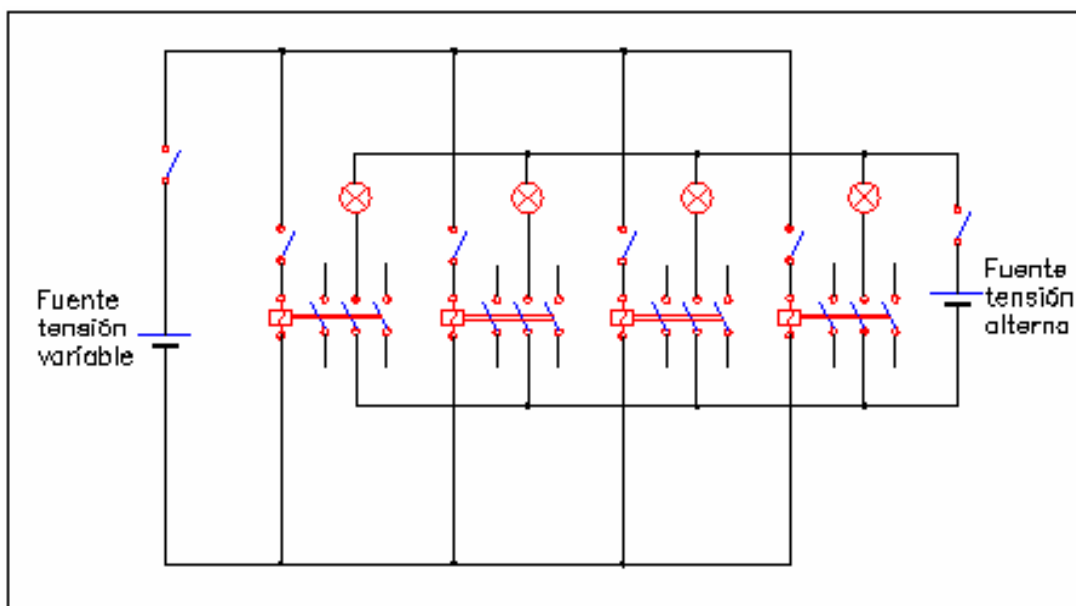
Varias herramientas.

Los contactores son ensayados en tandas de 4 en 4 según modelo y tensión de alimentación en el mismo orden que marca su etiquetado de control.

El circuito montado dentro de la cámara climática corresponde con el Esquema 3-1, aunque la fuente de alimentación para las bobinas de los contactores está ubicada fuera de la cámara climática para no sufrir las mismas condiciones climáticas ocasionando una posible avería.

Con los contactores dentro de la cámara, es muy difícil saber si su cierre es completo y fiable al alimentarlos 20 veces según marca la norma.

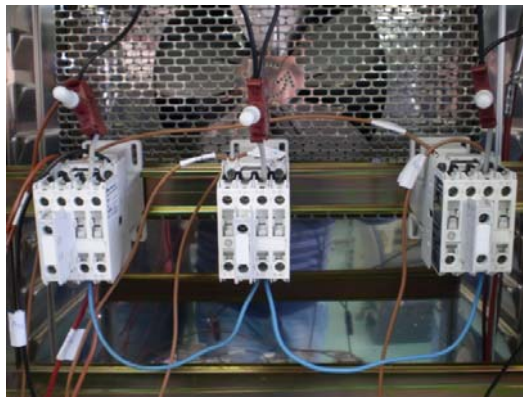
La solución a este problema es colocar en el polo central de cada contactor un piloto de señalización, es decir, una pequeña bombilla en un polo de cada contactor que muestra o señala, a través de la puerta de cristal de la cámara, si el cierre del contactor es bueno. La solución está representada en el Esquema 3-1.



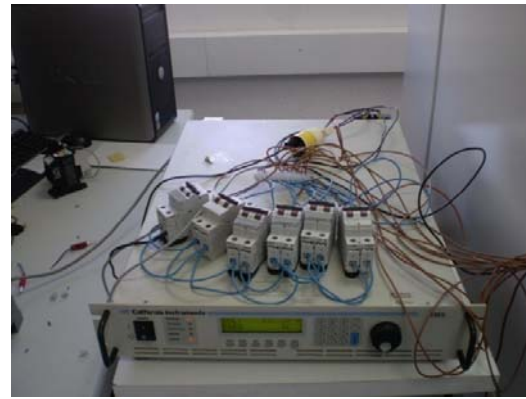
Esquema 3-1: Cableado de alimentación y señalización para el ensayo de límites de operación.

Se observa que se dispone de un interruptor general, y otro independiente para cada contactor así como otro más para el circuito de señalización de cierre o apertura.

El funcionamiento es simple pero eficaz, estando el contactor en la combinación de temperatura y tensión de alimentación exigida por la norma durante el tiempo de estabilización marcado, se comprueba que el cierre del contactor es correcto si al alimentar la bobina, con el tanto por ciento de U_n indicado, el piloto de señalización se ilumina, ya que según se aprecia en el Esquema 3-1 los contactores actúan como interruptores del circuito de pilotos de señalización. Se entiende más claramente el circuito con la Figura 3-1y la Figura 3-2.



(a)



(b)

Figura 3-1. Montaje para el ensayo de límites de operación: (a) Contactores en el interior de la cámara climática. (b) Fuente de tensión variable para alimentar las bobinas de los contactores.



Figura 3-2. Montaje completo para el ensayo de límites de operación.

Se toma como tiempo de estabilización de la temperatura 2 horas mínimo, pero siempre a partir de que la cámara llega a la temperatura establecida en su programación, ya que se parte de una temperatura ambiente mayor o menor que la temperatura de ensayo T_e .

En el primer caso de ensayo a -25°C el supuesto más desfavorable es comenzar el ensayo con el contactor sin alimentación y seguir así a lo largo de las dos horas mencionadas. De esta manera se evita la disipación de calor que ocasiona la bobina y se consiguen los -25°C realmente en el contactor, el ensayo se realiza con un bloque auxiliar acoplado al contactor ya que de esta manera se dificulta su cierre al tener que vencer además del propio muelle del contactor, el del interior de este bloque auxiliar.

No siempre es posible conseguir las condiciones exigidas en normativa en el laboratorio, por este motivo se dieron anteriormente en la Tabla 3-2 las tolerancias admisibles de cada variable. Por tanto, además de los resultados obtenidos, siempre se detallarán a lo largo del proyecto los valores exactos a los que se realizan los ensayos tal y como se muestra en la Tabla 3-6 de resultados para el modelo CL25.

| Característica | T_{ensayo} | U_{ensayo} | 20 Op. al 70 % de U_n | 20 Op al 125 % de U_n |
|-----------------|-----------------------|---------------------|---------------------------|----------------------------|
| Valor requerido | -25°C | 0 V. | Cierre completo a 77 V. | Cierre completo a 137,5 V. |
| Nº de muestra | Resultado obtenido | Resultado obtenido | Resultado obtenido | Resultado obtenido |
| 1 | -25°C | 0 V | Positivo | Positivo |
| 2 | -25°C | 0 V | Positivo | Positivo |
| 3 | -25°C | 0 V | Positivo | Positivo |
| 4 | -25°C | 0 V | Positivo | Positivo |
| Valor requerido | -25°C | 0 V. | Cierre completo a 50,4 V. | Cierre completo a 90 V. |
| Nº de muestra | Resultado obtenido | Resultado obtenido | Resultado obtenido | Resultado obtenido |
| 5 | -25°C | 0 V | Positivo | Positivo |
| 6 | -25°C | 0 V | Positivo | Positivo |
| 7 | -25°C | 0 V | Positivo | Positivo |
| 8 | -25°C | 0 V | Positivo | Positivo |
| Valor requerido | -25°C | 0 V. | Cierre completo a 16,8 V. | Cierre completo a 30 V. |
| Nº de muestra | Resultado obtenido | Resultado obtenido | Resultado obtenido | Resultado obtenido |
| 9 | -25°C | 0 V | Positivo | Positivo |
| 10 | -25°C | 0 V | Positivo | Positivo |
| 11 | -25°C | 0 V | Positivo | Positivo |
| 12 | -25°C | 0 V | Positivo | Positivo |

Tabla 3-6: Resultados del contactor CL25 para el ensayo de límites de operación a -25°C .

En la Tabla 3-7 se muestran las condiciones alcanzadas y los resultados obtenidos en los ensayos a -25°C para las muestras del modelo CL01.

| Característica | T_{ensayo}. | U_{ensayo} | 20 Op. al 70 % de U_n. | 20 Op. al 125 % de U_n. |
|------------------------|-------------------------------|-------------------------------|---|--|
| Valor requerido | -25° C | 0 V. | Cierre completo a 77 V. | Cierre completo a 137,5 V. |
| N° de muestra | Resultado obtenido | Resultado obtenido | Resultado obtenido | Resultado obtenido |
| 13 | -25° C | 0 V | Positivo | Positivo |
| 14 | -25° C | 0 V | Positivo | Positivo |
| 15 | -25° C | 0 V | Positivo | Positivo |
| 16 | -25° C | 0 V | Positivo | Positivo |
| Valor requerido | -25° C | 0 V. | Cierre completo a 50,4 V. | Cierre completo a 90 V. |
| N° de muestra | Resultado obtenido | Resultado obtenido | Resultado obtenido | Resultado obtenido |
| 17 | -25° C | 0 V | Positivo | Positivo |
| 18 | -25° C | 0 V | Positivo | Positivo |
| 19 | -25° C | 0 V | Positivo | Positivo |
| 20 | -25° C | 0 V | Positivo | Positivo |
| Valor requerido | -25° C | 0 V. | Cierre completo a 16,8 V. | Cierre completo a 30 V. |
| N° de muestra | Resultado obtenido | Resultado obtenido | Resultado obtenido | Resultado obtenido |
| 21 | -25° C | 0 V | Positivo | Positivo |
| 22 | -25° C | 0 V | Positivo | Positivo |
| 23 | -25° C | 0 V | Positivo | Positivo |
| 24 | -25° C | 0 V | Positivo | Positivo |

Tabla 3-7: Resultados del contactor CL01 para el ensayo de límites de operación a -25°C.

Se observan unos resultados totalmente positivos en la Tabla 3-6 y Tabla 3-7, gracias a lo cual se puede proseguir con el siguiente ensayo.

Además se deja constancia de que la cámara climática utilizada en el laboratorio es capaz no solo de conseguir las condiciones deseadas sino de mantenerlas sin ningún tipo de fluctuaciones.

Para el siguiente ensayo nuevamente se toma como tiempo de estabilización de la temperatura 2 horas mínimo, a partir de que la cámara llega a la temperatura establecida en su programación. El montaje eléctrico es exactamente el mismo que para el anterior ensayo pudiéndose consultar en el Esquema 3-1.

En este caso el supuesto más desfavorable, en parte, ya lo define la norma, que es comenzar el ensayo con el contactor alimentado a su tensión nominal y seguir así a lo largo de las dos horas mencionadas, ya que así se produce un calentamiento en la

bobina, aumentando así su resistencia y provocando que el cierre del contactor se produzca con mayor dificultad.

En lo relativo a la temperatura del aire ambiente, es decir, a la interior en la cámara climática a lo largo del ensayo T_e , se parte del caso más crítico $T_a = 55\text{ °C}$ y por tanto $T_e = 55 + 15 = 70\text{ °C}$, la razón es la misma que la expuesta anteriormente, con la subida de temperatura se produce un aumento de la resistencia de la bobina, en estas condiciones, con la misma tensión se consigue una menor corriente y por tanto, se crea un flujo más débil que dificulta el cierre del contactor.

El ensayo se realiza con un bloque auxiliar acoplado al contactor por la misma razón que en el caso anterior.

En la Tabla 3-8 se muestran las condiciones alcanzadas y los resultados obtenidos en los ensayos a 70 °C y con los contactores alimentados a la tensión nominal U_n para las muestras del modelo CL25.

| Característica | $T_{\text{ensayo.}}$ | U_{ensayo} | 20 Op. al 70 % de U_n . | 20 Op. al 125 % de U_n . |
|-----------------|----------------------|---------------------|---------------------------|----------------------------|
| Valor requerido | 70 °C | 110 V. | Cierre completo a 77 V. | Cierre completo a 137,5 V. |
| Nº de muestra | Resultado obtenido | Resultado obtenido | Resultado obtenido | Resultado obtenido |
| 1 | 70 °C | 110 V | Positivo | Positivo |
| 2 | 70 °C | 110 V | Positivo | Positivo |
| 3 | 70 °C | 110 V | Positivo | Positivo |
| 4 | 70 °C | 110 V | Positivo | Positivo |
| Valor requerido | 70 °C | 72 V. | Cierre completo a 50,4 V. | Cierre completo a 90 V. |
| Nº de muestra | Resultado obtenido | Resultado obtenido | Resultado obtenido | Resultado obtenido |
| 5 | 70 °C | 72 V | Positivo | Positivo |
| 6 | 70 °C | 72 V | Positivo | Positivo |
| 7 | 70 °C | 72 V | Positivo | Positivo |
| 8 | 70 °C | 72 V | Positivo | Positivo |
| Valor requerido | 70 °C | 24 V. | Cierre completo a 16,8 V. | Cierre completo a 30 V. |
| Nº de muestra | Resultado obtenido | Resultado obtenido | Resultado obtenido | Resultado obtenido |
| 9 | 70 °C | 24 V | Positivo | Positivo |
| 10 | 70 °C | 24 V | Positivo | Positivo |
| 11 | 70 °C | 24 V | Positivo | Positivo |
| 12 | 70 °C | 24 V | Positivo | Positivo |

Tabla 3-8: Resultados del contactor CL25 para el ensayo de límites de operación a 70 °C y U_n .

En la Tabla 3-9 se muestran las condiciones alcanzadas y los resultados obtenidos en los ensayos a 70°C y con los contactores alimentados a la tensión nominal U_n para las muestras del modelo CL01.

| Característica | T_{ensayo} | U_{ensayo} | 20 Op. al 70 % de U_n | 20 Op. al 125 % de U_n |
|-----------------|---------------------|---------------------|---------------------------|----------------------------|
| Valor requerido | 70° C | 110 V. | Cierre completo a 77 V. | Cierre completo a 137,5 V. |
| N° de muestra | Resultado obtenido | Resultado obtenido | Resultado obtenido | Resultado obtenido |
| 13 | 70° C | 110 V | Positivo | Positivo |
| 14 | 70° C | 110 V | Positivo | Positivo |
| 15 | 70° C | 110 V | Positivo | Positivo |
| 16 | 70° C | 110 V | Positivo | Positivo |
| Valor requerido | 70° C | 72 V. | Cierre completo a 50,4 V. | Cierre completo a 90 V. |
| N° de muestra | Resultado obtenido | Resultado obtenido | Resultado obtenido | Resultado obtenido |
| 17 | 70° C | 72 V | Positivo | Positivo |
| 18 | 70° C | 72 V | Positivo | Positivo |
| 19 | 70° C | 72 V | Positivo | Positivo |
| 20 | 70° C | 72 V | Positivo | Positivo |
| Valor requerido | 70° C | 0 V. | Cierre completo a 16,8 V. | Cierre completo a 30 V. |
| N° de muestra | Resultado obtenido | Resultado obtenido | Resultado obtenido | Resultado obtenido |
| 21 | 70° C | 24 V | Positivo | Positivo |
| 22 | 70° C | 24 V | Positivo | Positivo |
| 23 | 70° C | 24 V | Positivo | Positivo |
| 24 | 70° C | 24 V | Positivo | Positivo |

Tabla 3-9: Resultados del contactor CL01 para el ensayo de límites de operación a 70 °C y U_n .

Como se puede ver en la Tabla 3-8 y Tabla 3-9 los resultados de estos ensayos son totalmente positivos. Por tanto, se puede proceder al siguiente ensayo con esta misma temperatura de aire ambiente, en caso contrario este paso se hubiera repetido definiendo una temperatura de ensayo menor, $T_e = 15\text{ °C} + 25\text{ °C} = 40\text{ °C}$. Si aún así el resultado hubiera sido negativo, quedaría invalidado el funcionamiento de alimentación desde una batería en carga flotante pero se probarían las condiciones de generador independiente, en caso de obtener unos resultados negativos la homologación se anularía en este punto.

Para el último ensayo de límites de operación se toma como en los dos casos anteriores un tiempo de estabilización de la temperatura 2 horas mínimo, a partir de que la cámara llegue a la temperatura establecida en su programación.

En este caso, como anteriormente, el supuesto más desfavorable ya lo define la norma, que es comenzar el ensayo con el contactor alimentado a su tensión nominal y seguir así a lo largo de las dos horas mencionadas, ya que así se produce el calentamiento de la bobina, y a su vez, aumenta su resistencia y el cierre de contactor resulta más complicado.

En lo relativo a la temperatura del aire ambiente, es decir, a la interior en la cámara climática, se sigue el mismo criterio anterior $T_a = 55\text{ °C}$ y por tanto $T_e = 55 + 15 = 70\text{ °C}$, la razón es la misma que anteriormente.

Si se consigue finalizar este último ensayo con éxito en este supuesto quedará validado el uso de este tipo de contactores tanto en ambientes cerrados como en abiertos.

El ensayo se realiza con un bloque auxiliar acoplado al contactor por la misma razón que en los dos casos anteriores.

En la Tabla 3-10 se muestran las condiciones alcanzadas y los resultados obtenidos en los ensayos a 70 °C y con los contactores alimentados al 110% de la tensión nominal $1,1U_n$ para las muestras del modelo CL25.

| Característica | T_{ensayo} | U_{ensayo} | 20 Op. al 80 % de U_n | 20 Op. al 125 % de U_n |
|-----------------|---------------------|---------------------|---------------------------|----------------------------|
| Valor requerido | 70 °C | 121 V. | Cierre completo a 88 V. | Cierre completo a 137,5 V. |
| Nº de muestra | Resultado obtenido | Resultado obtenido | Resultado obtenido | Resultado obtenido |
| 1 | 70 °C | 121 V | Positivo | Positivo |
| 2 | 70 °C | 121 V | Positivo | Positivo |
| 3 | 70 °C | 121 V | Positivo | Positivo |
| 4 | 70 °C | 121 V | Positivo | Positivo |
| Valor requerido | 70 °C | 79,2 V. | Cierre completo a 57,6 V. | Cierre completo a 90 V. |
| Nº de muestra | Resultado obtenido | Resultado obtenido | Resultado obtenido | Resultado obtenido |
| 5 | 70 °C | 79,2 V | Positivo | Positivo |
| 6 | 70 °C | 79,2 V | Positivo | Positivo |
| 7 | 70 °C | 79,2 V | Positivo | Positivo |
| 8 | 70 °C | 79,2 V | Positivo | Positivo |
| Valor requerido | 70 °C | 26,4 V. | Cierre completo a 19,2 V. | Cierre completo a 30 V. |
| Nº de muestra | Resultado obtenido | Resultado obtenido | Resultado obtenido | Resultado obtenido |
| 9 | 70 °C | 26,4 V | Positivo | Positivo |
| 10 | 70 °C | 26,4 V | Positivo | Positivo |
| 11 | 70 °C | 26,4 V | Positivo | Positivo |
| 12 | 70 °C | 26,4 V | Positivo | Positivo |

Tabla 3-10: Resultados del contactor CL25 para el ensayo de límites de operación a 70 °C y $1,1U_n$.

En la Tabla 3-11 se muestran las condiciones alcanzadas y los resultados obtenidos en los ensayos a 70°C y con los contactores alimentados al 110% de la tensión nominal $1,1U_n$ para las muestras del modelo CL01.

| Característica | T_{ensayo}. | U_{ensayo} | 20 Op. al 80 % de U_n. | 20 Op. al 125 % de U_n. |
|------------------------|-------------------------------|-------------------------------|---|--|
| Valor requerido | 70° C | 121 V. | Cierre completo a 88 V. | Cierre completo a 137,5 V. |
| N° de muestra | Resultado obtenido | Resultado obtenido | Resultado obtenido | Resultado obtenido |
| 13 | 70° C | 121 V | Positivo | Positivo |
| 14 | 70° C | 121 V | Positivo | Positivo |
| 15 | 70° C | 121 V | Positivo | Positivo |
| 16 | 70° C | 121 V | Positivo | Positivo |
| Valor requerido | 70° C | 79,2 V. | Cierre completo a 57,6 V. | Cierre completo a 90 V. |
| N° de muestra | Resultado obtenido | Resultado obtenido | Resultado obtenido | Resultado obtenido |
| 17 | 70° C | 79,2 V | Positivo | Positivo |
| 18 | 70° C | 79,2 V | Positivo | Positivo |
| 19 | 70° C | 79,2 V | Positivo | Positivo |
| 20 | 70° C | 79,2 V | Positivo | Positivo |
| Valor requerido | 70° C | 26,4 V. | Cierre completo a 19,2 V. | Cierre completo a 30 V. |
| N° de muestra | Resultado obtenido | Resultado obtenido | Resultado obtenido | Resultado obtenido |
| 21 | 70° C | 26,4 V | Positivo | Positivo |
| 22 | 70° C | 26,4 V | Positivo | Positivo |
| 23 | 70° C | 26,4 V | Positivo | Positivo |
| 24 | 70° C | 26,4 V | Positivo | Positivo |

Tabla 3-11: Resultados del contactor CL01 para el ensayo de límites de operación a 70 °C y $1,1U_n$.

A la vista de los resultados totalmente positivos en la Tabla 3-10 y Tabla 3-11, de tal manera que a la vista de todos los resultados de los ensayos de límites de operación, SE VALIDA TODO EL ENSAYO DE LÍMITES DE OPERACIÓN para una temperatura entre -25 °C y 70° C.

En caso de no haber resultado así, se debe repetir este apartado definiendo una temperatura de ensayo menor, de $15\text{ °C} + 25\text{ °C} = 40\text{ °C}$, este motivo también hubiera anulado el apartado 8.2.1. c) 1) a 70 °C ya que se tiene cumplir una misma temperatura para los apartados 1) y 2).

Si aún así el resultado hubiera sido negativo, el protocolo hubiera sido parado en este punto invalidando la homologación de estos dispositivos bajo la normativa seguida.

Pese a que este ensayo queda totalmente verificado, se decide aportar más datos al cliente para ver la magnitud de tolerancia en la que se encuentran estos contactores, es decir, queda comprobado que estos dispositivos son capaces de realizar maniobras en las peores combinaciones de temperaturas y de tensión de alimentación, pero estos ensayos no reflejan con exactitud a que tensión se puede llegar a maniobrar correctamente en las anteriores condiciones climáticas.

Por este motivo se procedió a la realización de un ensayo interno del laboratorio, unas pruebas muy comunes a la hora de realizar verificaciones en contactores.

La primera de estas pruebas es llamada “PICK UP” literalmente la traducción es recoger, reunir...de aquí este nombre ya que lo que se pretende con esta prueba es conocer la mínima tensión a la cual el contactor es capaz de realizar un cierre fiable y completo desde una posición de reposo, es decir, a que mínima tensión de alimentación de la bobina, ésta es capaz de crear un flujo suficientemente grande como para que la armadura y núcleo se reúnan o junten de una manera sólida y fiable. Este ensayo se realiza sobre una única muestra como se indica a continuación:

- Se conecta la fuente tensión variable pero con la salida desactivada.
- Se selecciona una tensión en torno al 45%-50% de la tensión nominal de la bobina U_n .
- Se activa la salida de la fuente y se observa si se produce el cierre del contactor.
- En caso de no producirse el cierre se desactiva rápidamente la salida de tensión de la fuente variable.
- Se selecciona una tensión mayor, subiendo sobre un 2% de U_n en cada escalón.
- Se activa la salida de la fuente y se observa si se produce el cierre del contactor.
- En caso de producirse el cierre del contactor se anota este valor como dato positivo de pick up y se repite el proceso dos veces más para realizar una media.

La segunda prueba es llamada “DROP OUT” literalmente la traducción es desprenderse, separarse... la finalidad de esta prueba es partir desde la tensión de alimentación y por tanto, desde la posición cerrada del contactor e ir disminuyendo la tensión de alimentación poco a poco, para comprobar a partir de qué valor de la misma se produce una apertura definitiva y sin vibraciones del contactor. Este ensayo da una idea de la caída de tensión que puede sufrir el circuito que alimenta a la bobina sin que el contactor se abra, provocado un posible fallo en el proceso que controla. Este ensayo se realiza sobre una única muestra como se indica a continuación:

- Se conecta la fuente tensión variable pero con la salida desactivada.
- Se selecciona la tensión nominal de la bobina del contactor a ensayar U_n .
- Se activa la salida de la fuente y se produce el cierre del contactor.
- Con el selector de tensión se va disminuyendo la misma de manera que no se produzcan bajadas muy bruscas.

- En cuanto se produce la apertura del contactor se anota este valor de tensión como dato de drop out y se repite el proceso dos veces más para realizar una media.

Con estos ensayos no solamente se vuelve a verificar todo lo hecho anteriormente, sino que también se puede ver si el contactor cumple la normativa justamente y sin apenas margen o por el contrario es capaz de funcionar con un rango de tensiones aún más amplio.

El montaje del circuito y el material necesario es exactamente el anterior, ya que lo único que va a variar es la tensión de alimentación, la diferencia es que las muestras se van probando de una en una.

La fuente utilizada anteriormente también permite una selección de tensión continua de 0 a 300 voltios, incluso con la salida activada, dato muy importante ya que es necesario en el caso de realizar el ensayo de DROP OUT.

Es necesario obtener 3 valores de PICK UP y 3 de DROP OUT para realizar una media y mostrar un resultado más correcto y fiable.

Los resultados obtenidos se muestran de manera resumida en la Tabla 3-12, Tabla 3-13 para el caso del modelo CL25 y en la Tabla 3-14 y Tabla 3-15 para el caso del modelo CL01.

Resultados PICK UP Y DROP OUT modelo CL25.

| Temperatura de ensayo | 70°C | | | | | | | | |
|-----------------------|----------------|---------------|---------------|---------------|-------------------|----------------|----------------|----------------|--------------------|
| Nº de muestra | U _n | Pick up 1 (V) | Pick up 2 (V) | Pick up 3 (V) | Media Pick up (V) | Drop out 1 (V) | Drop out 2 (V) | Drop out 3 (V) | Media Drop out (V) |
| 1 | 110 V | 65,5 | 65,6 | 65,1 | 65,40 | 15,3 | 15,0 | 15,1 | 15,1 |
| 2 | 110 V | 67,9 | 68,2 | 67,8 | 67,97 | 21,0 | 20,6 | 20,6 | 20,7 |
| 3 | 110 V | 67,4 | 70,5 | 71,4 | 69,77 | 18,6 | 19,2 | 17,4 | 18,4 |
| 4 | 110 V | 68,8 | 68,2 | 67,3 | 68,10 | 19,0 | 16,7 | 18,2 | 18,0 |
| 5 | 72 V | 44,1 | 44,5 | 44,3 | 51,17 | 11,7 | 11,2 | 12,1 | 11,7 |
| 6 | 72 V | 45,8 | 44,3 | 46,1 | 50,70 | 12,1 | 12,3 | 13,1 | 12,5 |
| 7 | 72 V | 45,1 | 44,2 | 45,1 | 52,13 | 15,2 | 14,7 | 14,3 | 14,7 |
| 8 | 72 V | 44,7 | 44,9 | 46,0 | 48,53 | 14,1 | 13,2 | 13,4 | 13,6 |
| 9 | 24 V | 14,4 | 14,4 | 14,4 | 14,40 | 4,5 | 4,3 | 4,2 | 4,3 |
| 10 | 24 V | 15,1 | 15,1 | 15,2 | 15,13 | 4,4 | 4,3 | 4,2 | 4,3 |
| 11 | 24 V | 14,4 | 14,5 | 14,5 | 14,47 | 4,7 | 4,6 | 4,5 | 4,6 |
| 12 | 24 V | 14,3 | 14,4 | 14,3 | 14,33 | 4,3 | 4 | 4,1 | 4,1 |

Tabla 3-12: Pick up CL25. Valor mínimo de tensión de alimentación al que se produce el cierre del contactor.

| Temperatura de ensayo | -25 °C | | | | | | | | |
|-----------------------|----------------|---------------|---------------|---------------|-------------------|----------------|----------------|----------------|--------------------|
| N° de muestra | U _n | Pick up 1 (V) | Pick up 2 (V) | Pick up 3 (V) | Media Pick up (V) | Drop out 1 (V) | Drop out 2 (V) | Drop out 3 (V) | Media Drop out (V) |
| 1 | 110 V | 55,5 | 53,2 | 53,3 | 54,0 | 11 | 10,8 | 10,4 | 10,7 |
| 2 | 110 V | 61,0 | 61,2 | 61,0 | 61,1 | 11,8 | 11,8 | 11,5 | 11,7 |
| 3 | 110 V | 58,6 | 58,0 | 59,0 | 58,5 | 12,1 | 13 | 11,6 | 12,2 |
| 4 | 110 V | 56,1 | 56,5 | 57,2 | 56,6 | 13,1 | 13,4 | 12,8 | 13,1 |
| 5 | 72 V | 40,5 | 40,9 | 40,6 | 40,7 | 7,4 | 7,8 | 7,1 | 7,4 |
| 6 | 72 V | 39,3 | 39,2 | 39,2 | 39,2 | 7,6 | 8,1 | 7,4 | 7,7 |
| 7 | 72 V | 42,8 | 42,8 | 42,9 | 42,8 | 8,5 | 9,1 | 8,8 | 8,8 |
| 8 | 72 V | 40,4 | 39,9 | 39,2 | 39,8 | 7,2 | 7,6 | 7,1 | 7,3 |
| 9 | 24 V | 12,2 | 12,1 | 12 | 12,1 | 2,3 | 2,6 | 2,6 | 2,5 |
| 10 | 24 V | 11,9 | 11,5 | 12 | 11,8 | 2,0 | 2,1 | 2,0 | 2,0 |
| 11 | 24 V | 11,2 | 11,9 | 12,6 | 11,9 | 2,6 | 2,1 | 2,5 | 2,4 |
| 12 | 24 V | 12,1 | 12,4 | 12,4 | 12,3 | 2,1 | 2,2 | 2,1 | 2,1 |

Tabla 3-13: Drop out CL25. Valor máximo de tensión de alimentación a la que se produce la apertura del contactor estando en posición cerrada.

Resultados PICK UP Y DROP OUT modelo CL01.

| Temperatura de ensayo | 70°C | | | | | | | | |
|-----------------------|----------------|---------------|---------------|---------------|-------------------|----------------|----------------|----------------|--------------------|
| N° de muestra | U _n | Pick up 1 (V) | Pick up 2 (V) | Pick up 3 (V) | Media Pick up (V) | Drop out 1 (V) | Drop out 2 (V) | Drop out 3 (V) | Media Drop out (V) |
| 13 | 110 V | 61,7 | 62,3 | 62,0 | 62,0 | 12,2 | 12,7 | 13 | 12,6 |
| 14 | 110 V | 60,1 | 60,7 | 60,0 | 60,3 | 11,8 | 12,2 | 12,8 | 12,3 |
| 15 | 110 V | 62,0 | 63,5 | 63,0 | 62,8 | 14,0 | 13,4 | 15,2 | 14,2 |
| 16 | 110 V | 63,1 | 62,8 | 62,3 | 62,7 | 10,8 | 12,6 | 11,6 | 11,7 |
| 17 | 72 V | 40,0 | 40,5 | 40,9 | 40,5 | 9,4 | 8,9 | 8,6 | 9,0 |
| 18 | 72 V | 39,0 | 38,7 | 39,2 | 39,0 | 10,7 | 10,2 | 10,1 | 10,3 |
| 19 | 72 V | 38,5 | 38,6 | 39,1 | 38,7 | 8,5 | 7,9 | 8,8 | 8,4 |
| 20 | 72 V | 39,0 | 38,9 | 39,0 | 39,0 | 8,3 | 8,5 | 9,1 | 8,6 |
| 21 | 24 V | 14,3 | 14,5 | 15 | 14,6 | 4,1 | 3,9 | 4,6 | 4,2 |
| 22 | 24 V | 14,2 | 14,1 | 14,6 | 14,3 | 4,3 | 4,1 | 4,2 | 4,2 |
| 23 | 24 V | 14,2 | 14,8 | 14,5 | 14,5 | 3,5 | 3,9 | 4 | 3,8 |
| 24 | 24 V | 14,3 | 14,7 | 14,5 | 14,5 | 4,1 | 4,2 | 4,3 | 4,2 |

Tabla 3-14: Pick up CL01. Valor mínimo de tensión de alimentación al que se produce el cierre del contactor.

| Temperatura de ensayo | -25 °C | | | | | | | | |
|-----------------------|----------------|---------------|---------------|---------------|-------------------|----------------|----------------|----------------|--------------------|
| N° de muestra | U _n | Pick up 1 (V) | Pick up 2 (V) | Pick up 3 (V) | Media Pick up (V) | Drop out 1 (V) | Drop out 2 (V) | Drop out 3 (V) | Media Drop out (V) |
| 13 | 110 V | 53,9 | 52,8 | 52,3 | 53,0 | 9,4 | 9,6 | 10,1 | 9,7 |
| 14 | 110 V | 53,2 | 53,1 | 52,7 | 53,0 | 10,2 | 10,1 | 10 | 10,1 |
| 15 | 110 V | 53,2 | 53,5 | 53,9 | 53,5 | 9,5 | 9,9 | 10 | 9,8 |
| 16 | 110 V | 49,8 | 50,3 | 51,4 | 50,5 | 10 | 10,4 | 10,5 | 10,3 |
| 17 | 72 V | 35,0 | 35,6 | 36,0 | 35,5 | 5,3 | 5,2 | 5,7 | 5,4 |
| 18 | 72 V | 37,0 | 36,5 | 36,6 | 36,7 | 5,2 | 5,1 | 5,6 | 5,3 |
| 19 | 72 V | 38,0 | 37,9 | 38,2 | 38,0 | 4 | 3,9 | 4,7 | 4,2 |
| 20 | 72 V | 36,0 | 35,5 | 35,5 | 35,7 | 5,7 | 5,9 | 6,1 | 5,9 |
| 21 | 24 V | 10,9 | 12,0 | 12,5 | 11,8 | 1,2 | 1,5 | 1,5 | 1,4 |
| 22 | 24 V | 11,8 | 11,9 | 12,3 | 12,0 | 1,5 | 1,9 | 1,7 | 1,7 |
| 23 | 24 V | 11,8 | 12,6 | 11,6 | 12,0 | 1,5 | 1,3 | 2,0 | 1,6 |
| 24 | 24 V | 13,0 | 12,8 | 13,8 | 13,2 | 1,6 | 1,3 | 1,3 | 1,4 |

Tabla 3-15: Drop out CL01. Valor máximo de tensión de alimentación a la que se produce la apertura del contactor estando en posición cerrada.

Analizando estos resultados se comprueba que existe un margen considerable para cumplir los requisitos de la normativa anteriormente corroborada.

En la Tabla 3-16, Tabla 3-17, Tabla 3-18 y Tabla 3-19 se puede observar el porcentaje real de U_n al que se podría llegar para operar con el contactor fiablemente en esas condiciones climáticas y con un bloque auxiliar.

Para una temperatura de ensayo del aire ambiente, es decir, en el interior de la cámara climática de T_e = 70 °C.

| Modelo CL25 | U _n | Tensión de alimentación media para Pick Up | Porcentaje de U _n para Pick Up |
|--------------|----------------|--|---|
| Muestra 1-4 | 110 V | 67,8 | 61,6% |
| Muestra 5-8 | 72 V | 44,9 | 62,4% |
| Muestra 9-12 | 24 V | 14,6 | 60,7% |

Tabla 3-16: Porcentajes de tensión nominal necesarios para realizar un cierre a 70°C en un CL25.

| Modelo CL01 | U _n | Tensión de alimentación media para Pick Up | Porcentaje de U _n para Pick Up |
|---------------|----------------|--|---|
| Muestra 13-16 | 110 V | 61,9 | 56,3% |
| Muestra 17-20 | 72 V | 39,3 | 54,6% |
| Muestra 21-24 | 24 V | 14,5 | 60,3% |

Tabla 3-17: Porcentajes de tensión nominal necesarios para realizar un cierre a 70°C en un CL01.

Para una temperatura de ensayo del aire ambiente, es decir, en el interior de la cámara climática de $T_e = -25\text{ }^{\circ}\text{C}$.

| Modelo CL25 | U_n | Tensión de alimentación media para Pick Up | Porcentaje de U_n para Pick Up |
|--------------------|-------------------------|---|--|
| Muestra 1-4 | 110 V | 57,5 | 52,3% |
| Muestra 5-8 | 72 V | 40,6 | 56,4% |
| Muestra 9-12 | 24 V | 12,0 | 50,1% |

Tabla 3-18: Porcentaje de tensión nominal necesario para realizar un cierre a -25°C en un CL25.

| Modelo CL01 | U_n | Tensión de alimentación media para Pick Up | Porcentaje de U_n para Pick Up |
|--------------------|-------------------------|---|--|
| Muestra 13-16 | 110 V | 52,5 | 47,7% |
| Muestra 17-20 | 72 V | 36,5 | 50,6% |
| Muestra 21-24 | 24 V | 12,2 | 51,0% |

Tabla 3-19: Porcentajes de tensión nominal necesarios para realizar un cierre a -25°C en un CL01.

Se obtiene un margen suficiente como para cumplir el 70 % que marca la normativa en el peor de los casos.

3.3.2. ENSAYO DE AUMENTO DE TEMPERATURA

3.3.2.1. NORMATIVA.

Tal como se explica al comienzo del ensayo anterior, antes de cada ensayo se extraen los artículos de la norma que marcan las pautas y condiciones que se deben cumplir para homologar un aparato eléctrico bajo dicha norma.

De la norma IEC. 60077-2 [2] se extrae:

9.3.3.2 Aumento de temperatura.

El ensayo se llevará a cabo de acuerdo con el punto 9.3.2 de la norma IEC 60077-1 [1], con los siguientes requisitos adicionales:

- Aumento de la temperatura y temperatura límites fijada en 8.2.2. IEC 60077-1 [1].
- Las caídas de tensión del circuito principal se medirán en los terminales de los contactos principales. Esto se hará en el inicio y el final de la prueba de aumento de temperatura.

Como indica el apartado anterior el ensayo se llevará a cabo también con los siguientes puntos adicionales de la norma IEC 60077-1 [1]:

9.3.2 Temperatura y lugar de ensayo.

9.3.2.1 Temperatura del aire ambiente.

La temperatura del aire ambiente, se registrará durante el período de prueba por al menos dos medios de temperatura, por ejemplo, termómetros o termopares, distribuidos de la misma forma en el equipo y además también se registrará la temperatura que existe a una distancia de 1 m del equipo. La temperatura tomada mediante sensores debe estar protegida contra las corrientes de aire. Durante los ensayos, la temperatura del aire estará entre 10 °C y 40 °C y no variará más de 10 °C.

9.3.2.2 Medición de la temperatura de las piezas.

Para las partes que no sean bobinas, la temperatura de las distintas partes se medirá por medio de sensores de temperatura en los puntos con más probabilidades de alcanzar la temperatura máxima, estos puntos pueden ser determinados en un ensayo anterior con una corriente inferior a la corriente de prueba, que se debe indicar en el informe.

El sensor de temperatura no debe afectar significativamente el aumento de temperatura. Debe haber una buena conductividad térmica entre los sensores y la superficie sobre la que se hace la prueba.

Para bobinas de electroimán, el método de medición de la temperatura que se utiliza es la variación de la resistencia. Se permiten otros métodos solo si no es posible utilizar el método de la resistencia.

La temperatura de las bobinas antes de empezar el ensayo no deberá diferir de la del medio circundante en más de 3 °C.

Para conductores de cobre, el valor de la temperatura T_2 se puede obtener en función del valor de la temperatura de la resistencia en frío T_1 , y la proporción del valor de la resistencia en caliente R_2 y en frío R_1 .

$$T_2 = (R_2/R_1) \times (T_1 + 234,5) - 234,5 \quad (3)$$

Siendo:

R_2 : Resistencia de la bobina a T^a de ensayo.

R_1 : Resistencia de la bobina a T^a ambiente.

T_1 : Temperatura en el instante de medir R_1 .

T_2 : Temperatura de la bobina justo al final del ensayo.

T_1 y T_2 , se expresan en grados centígrados.

La prueba se realizará por un tiempo suficiente como para que el aumento de temperatura llegue a un estado de equilibrio, no superior a 8 h. Se supone que el estado de equilibrio se alcanza cuando la variación no exceda de 1 °C por hora.

9.3.2.4 Aumento de temperatura del circuito principal.

El equipo deberá montarse protegido contra elementos exteriores de calefacción o refrigeración.

Los equipos serán ensayados en una caja o envoltorio metálica y no se podrá abrir durante el ensayo para no crear falsas ventilaciones.

Para las pruebas con corrientes multifásicas habrá un equilibrio de las fases con un margen de $\pm 5\%$, y el promedio de estas corrientes no deberá ser inferior a la corriente de prueba.

Salvo que se especifique en la norma de producto, el ensayo de aumento de temperatura del circuito principal se realiza con la corriente nominal de funcionamiento y podrá hacerse a cualquier tensión. Puede ser necesario tener en cuenta la influencia del contenido armónico en la forma de onda a la hora de determinar el aumento de temperatura.

Al final de la prueba, el aumento de la temperatura de las diferentes partes del circuito principal no deberá sobrepasar los valores indicados en 8.2.2.3 a menos que se especifique lo contrario en el producto estándar.

Dependiendo del valor nominal de la corriente, uno de los siguientes acuerdos deberá ser utilizado:

a) Para corrientes de prueba de hasta 400 A las conexiones se harán al aire libre y con cable de un solo núcleo de cobre y de secciones transversales tal que la corriente de ensayo sea igual a 0,5 veces la corriente nominal de operación del cable elegido, de acuerdo a su índice de aislamiento de temperatura.

b) Para valores de corriente de prueba superiores a 400 A la conexión será, o bien dos cables con los requisitos anteriormente mencionados, o de un solo conductor de cobre desnudo equivalente especificado por el fabricante.

Detalles de la prueba, como el tipo de alimentación, número de fases y frecuencia (si procede), las secciones de la prueba, etc., formarán parte del informe de ensayo.

Como se indica en el apartado 9.3.3.2 de IEC. 60077-2 [2] el aumento de la temperatura y temperatura límites están fijadas en el apartado 8.2.2. de IEC 60077-1 [1]:

8.2.2 Aumento de la temperatura.

8.2.2.1 General.

El aumento de temperatura debido al funcionamiento de un equipo, y medido durante un ensayo bajo las condiciones especificadas en 9.3.2, no deberá exceder los valores establecidos en la Tabla 3-20.

NOTA 1 – Los límites del aumento de temperatura indicados en la Tabla 3-20 se aplicarán a los equipos de prueba estando nuevos y limpios. Valores diferentes pueden ser prescritos por las normas de productos para diferentes condiciones de ensayo.

NOTA 2 – El aumento de la temperatura normal de servicio puede diferir de los valores, dependiendo de las condiciones de instalación y el tamaño de los conductores conectados al circuito principal.

NOTA 3 - Más pruebas de temperatura en el lugar real y con las condiciones de servicio puede ser objeto de acuerdo entre el fabricante y el usuario para asegurarse de que las distintas sobrecargas no causan daños al equipo.

8.2.2.2 Temperatura del aire ambiente (T_a).

La determinación de los límites del aumento de temperatura se basa en la temperatura de referencia $T_r = 25^\circ \text{C}$ determinado en la norma EN 50125-1 [5].

El aire ambiente se considerará como el que rodean al dispositivo, y varía según el lugar en que el dispositivo esté instalado. Para los lugares externos, la temperatura del aire ambiente T_a es la temperatura de referencia T_r .

Para lugares interiores, la temperatura del aire ambiente T_a , es la temperatura de referencia más el aumento de la temperatura del aire, debido al aumento térmico ocasionado por las pérdidas, después de tener en cuenta las condiciones normales de refrigeración.

Para cada una de las partes internas de la carrocería, motor, cabina, etc. la temperatura del aire-lugar puede ser diferente. Cuando este valor no es conocido ni por un documento se considerará que no exceda de 30 °C durante el funcionamiento. La temperatura del aire ambiente se considera entonces $T_a = 55\text{ °C}$ ($25\text{ °C} + 30\text{ °C}$) y, por tanto, la temperatura máxima esperada puede ser de 70 °C ($15\text{ °C} + 25\text{ °C} + 30\text{ °C}$).

8.2.2.3 Circuito principal.

El circuito principal de un equipo deberá ser capaz de soportar la corriente nominal de funcionamiento del equipo sin que la temperatura se eleve por encima de los límites especificados en la Tabla 3-20 durante la prueba de conformidad con 9.3.2.

| Material del terminal | Limite de aumento de temperatura para una temperatura máxima del ambiente | | Máxima temperatura °C |
|--|---|-----------------------------|-----------------------|
| | 40°C ($T_a=25\text{°C}$) | 70°C ($T=55\text{°C}$) | |
| Cobre desnudo | 60 | 30 | 105 |
| Latón desnudo | 65 | 35 | |
| Cobre o plata chapados con estaño | | | |
| Cobre o plata chapados con plata o níquel | 70(nota1) | 40 (nota 1) | |
| NOTA 1: El límite del aumento de temperatura está basado en la conexión de cables con un índice de temperatura de 90°C. Otros valores pueden ser necesarios si el índice de temperatura del cable es distinto. | | | |

Tabla 3-20: Límites de aumento de temperatura en terminales.

3.3.2.2. INTERPRETACIÓN DE LA NORMATIVA ANTERIOR.

Tras la lectura de la normativa anterior se observa que existen unas temperaturas máximas fijadas para las partes de aparatos eléctricos que se utilizan, como en este caso, como material eléctrico rodante.

Al medir la temperatura de las piezas de los dispositivos, se debe hacer en aquellas en las que se prevé un mayor aumento de temperatura, según otros ensayos realizados en el laboratorio y la experiencia adquirida estas piezas son los terminales del contactor.

Al comienzo y al final del ensayo se debe medir la caída de tensión que existe en cada polo del circuito principal del contactor con un multímetro.

Se debe medir la temperatura del aire ambiente durante todo el periodo de prueba mediante dos medios distintos, en este caso un medio serán termopares y el otro un multímetro con una sonda de temperatura. Además se debe medir y registrar la temperatura que existe a un metro aproximadamente del dispositivo ensayado, esto se consigue con un termopar alejado un metro de distancia.

Los sensores de temperatura no deben alterar la medida y además debe existir una buena conductividad térmica entre ellos y la superficie de prueba, esto se resuelve colocando los termopares sin obstaculizar el paso de corriente entre el terminal y el cable, es decir, como el terminal tiene un hueco a cada lado del tornillo de presión, se coloca el conductor en una y en la otra el termopar. Para mejorar la conductividad térmica entre las superficies se cubre la punta del termopar con lámina de plata, de esta manera se consigue una mejor superficie de contacto entre el termopar y el terminal.

Al alimentar la bobina de un contactor, la temperatura de la misma va aumentando hasta que se llega a un equilibrio térmico, cuando se llega a este equilibrio la bobina sigue disipando calor y afecta de esta manera al calentamiento global del aparato, por este motivo se debe diseñar atendiendo también a la temperatura alcanzada. Además normalmente se trabaja con cable cuya temperatura de funcionamiento está fijada en un máximo de 90°C, por este motivo esta es la temperatura que se fija como máxima para la bobina, ya que en caso de sobrepasarla se pueden ver afectados los cables que la alimentan.

Para obtener el aumento de temperatura de la bobina de cobre del contactor no es necesario hacer una medida continua de temperatura, sino que se puede calcular de forma matemática la temperatura alcanzada al final del ensayo, conociendo la resistencia inicial y final de la bobina y la temperatura inicial de la misma.

La fórmula para el cálculo de esa temperatura en la bobina es la siguiente:

$$T_2 = (R_2/R_1) \times (T_1 + 234,5) - 234,5 \quad (3)$$

Siendo:

R_2 : Resistencia de la bobina a T^a de ensayo.

R_1 : Resistencia de la bobina a T^a ambiente.

T_1 : Temperatura en el instante de medir R_1 .

T_2 : Temperatura de la bobina justo al final del ensayo.

T_1 y T_2 , se expresan en grados centígrados.

El ensayo se realiza en una envolvente o armario metálico y para que la corriente que pase por las 3 fases del circuito principal no difiera en un $\pm 5\%$ una de otra, se cablea el circuito en serie y se hace circular la corriente nominal como solicita la normativa, de esta manera se consigue exactamente la misma corriente en cada fase.

En este caso los terminales son de cobre con baño de níquel y el ensayo se realiza bajo una envolvente metálica, por estos motivos se declara una temperatura máxima del aire ambiente de 70 °C, tal y como se ve en el apartado de límites de operación, y el incremento sobre estos 70 °C en los terminales no puede sobrepasar de 40 °C que marca la normativa como límite. La temperatura absoluta máxima que no puede sobrepasar ninguno de los terminales del contactor es de 110 °C.

Para estos valores de corriente, inferiores en ambos casos a 400 A, la normativa marca que las conexiones se hacen al aire, con un cable de un solo núcleo de cobre y de una sección tal que, la corriente que circule por el cable sea 0,5 veces la corriente nominal de operación del cable elegido, es decir que el cable que se debe usar tiene que estar dimensionado para una corriente doble que la utilizada en el ensayo.

Existen diversidad de tablas en las que se especifica la corriente soportada por un cable según su sección y aunque difieren ligeramente, el cliente facilita los datos de la Tabla 3-21 para poder utilizar en este ensayo.

Los cables deben tener una longitud de un metro si la sección es menor a 35 mm² y de dos metros para secciones iguales o mayores a la anterior.

Según la ficha técnica de los contactores el torque o par, al que se deben apretar los tornillos de los terminales para conseguir una buena presión de contacto, es de 2,2 Nm y 1,6 Nm para el CL25 y CL01 respectivamente.

| Área de la sección transversal del conductor (mm ²) | Corriente capaz de transportar D.C. o 50 Hz A.C. (A) |
|---|--|
| 1 | 20 |
| 1,5 | 25 |
| 2,5 | 33 |
| 4 | 46 |
| 6 | 60 |
| 10 | 85 |
| 16 | 110 |
| 25 | 150 |
| 35 | 190 |
| 50 | 240 |
| 10 | 300 |
| 95 | 360 |
| 120 | 425 |
| 150 | 490 |
| 185 | 560 |
| 240 | 675 |
| 300 | 775 |
| 400 | 950 |

Tabla 3-21: Corriente admisible en conductores de cobre para el ensayo de aumento de temperatura.

La corriente a utilizar en los ensayos de temperatura es de 25 A y 12 A para los modelos CL25 y CL01 respectivamente, ya que son sus corrientes nominales para un uso en AC3 (uso con una carga de motores trifásicos de jaula).

Según la normativa se necesita para el ensayo un cable dimensionado para el doble de la corriente, es decir, que aguanten 50 A y 25 A para los modelos CL25 y CL01 respectivamente. Atendiendo a la Tabla 3-21, se necesitan cables de 6 mm² de sección para el ensayo del CL 25 y de 1,5 mm² para el caso del CL01. Como estas secciones son menores a 35 mm² conductores tendrán una longitud de un metro cada uno.

3.3.2.3. ENSAYOS REALIZADOS Y RESULTADOS OBTENIDOS.

Para la realización de este ensayo de aumento de temperatura se necesitó el siguiente material de laboratorio:

Envolvere metálica.

Fuente variable de tensión.

1 Óhmetro.

1 multímetro.

Varias tomas de corriente alterna y 220 V.

Cableado y clemas necesarios.

2 interruptores de apertura en carga.

1 variador de tensión.

1 transformador de corriente.

1 destornillador dinamométrico.

Conjunto de termopares y hardware de adquisición de datos para conectar a un PC.

PC con software necesario para la lectura de los datos recogidos por los termopares.

4 muestras de contactor modelo CL25 (110 V)

4 muestras de contactor modelo CL01 (110 V)

Los contactores son ensayados en tandas de 2 en 2 del mismo modelo.

Primeramente se mide la resistencia de la bobina a la temperatura ambiente del laboratorio ($R_{Ta} = R_I$), 23 °C, y. Para realizar esta medida es necesario la inclusión de unos pequeños tramos de cable tal y como muestra la Figura 3-3. Estos tramos no afectan a la medida ya que ofrecen una resistencia al paso de corriente prácticamente nula, y en el rango de resistencia en el que se encuentra una bobina de este tipo no es significativa.

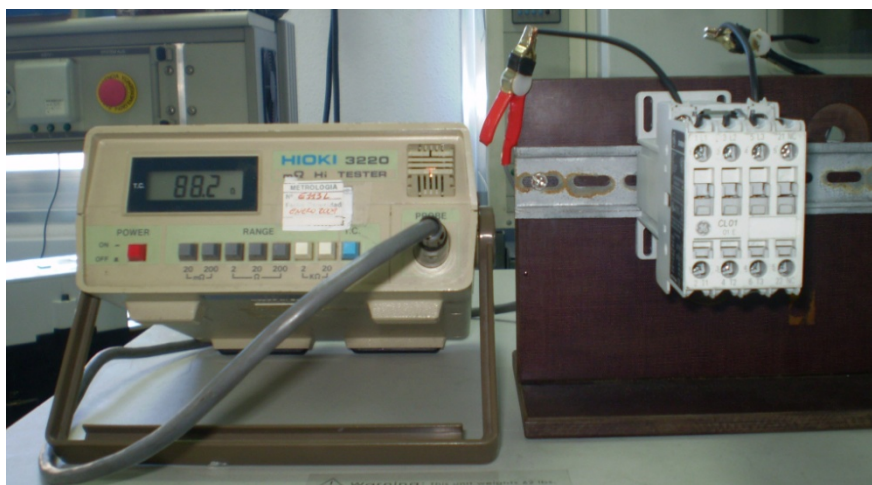


Figura 3-3: Medición de la resistencia de la bobina con un óhmetro.

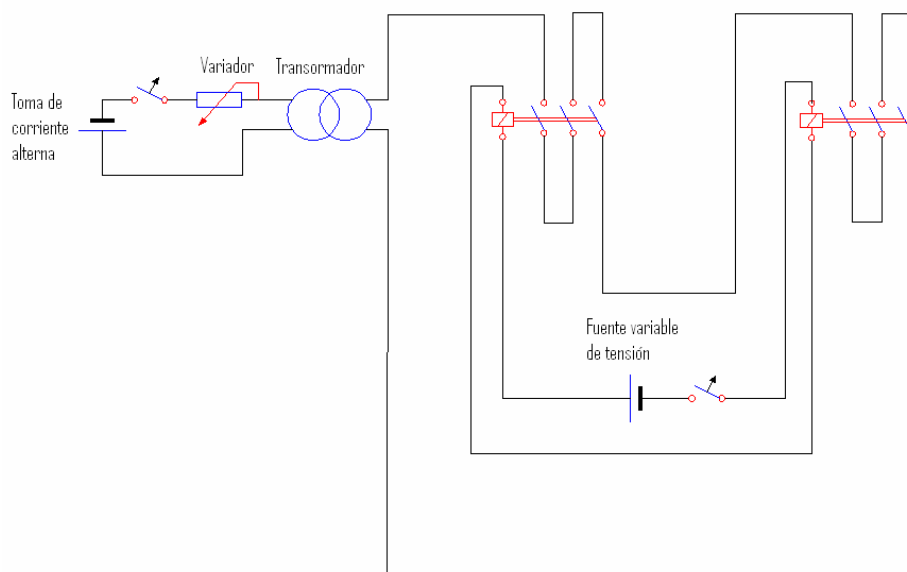
Los resultados obtenidos en la medición son los que se detallan a continuación en la Tabla 3-22.

| CL 25 | | | CL 01 | | |
|------------|---------------------|-----------------|------------|---------------------|-----------------|
| Numeración | V _{Bobina} | R _{Ta} | Numeración | V _{Bobina} | R _{Ta} |
| 1 | 110 V | 1815,6 Ω | 13 | 110 V | 1831,4 Ω |
| 2 | 110 V | 1807,2 Ω | 14 | 110 V | 1833,2 Ω |
| 3 | 110 V | 1814,7 Ω | 15 | 110 V | 1838,7 Ω |
| 4 | 110 V | 1808,6 Ω | 16 | 110 V | 1831,3 Ω |
| 5 | 72 V | 794,3 Ω | 17 | 72 V | 798,5 Ω |
| 6 | 72 V | 793,3 Ω | 18 | 72 V | 797,6 Ω |
| 7 | 72 V | 804,8 Ω | 19 | 72 V | 799,6 Ω |
| 8 | 72 V | 794,7 Ω | 20 | 72 V | 812,9 Ω |
| 9 | 24 V | 88,5 Ω | 21 | 24 V | 90,1 Ω |
| 10 | 24 V | 88,5 Ω | 22 | 24 V | 89,9 Ω |
| 11 | 24 V | 88,6 Ω | 23 | 24 V | 90,1 Ω |
| 12 | 24 V | 88,2 Ω | 24 | 24 V | 90,5 Ω |

Tabla 3-22: Resistencia de las bobinas de los contactores a T^a=23 °C

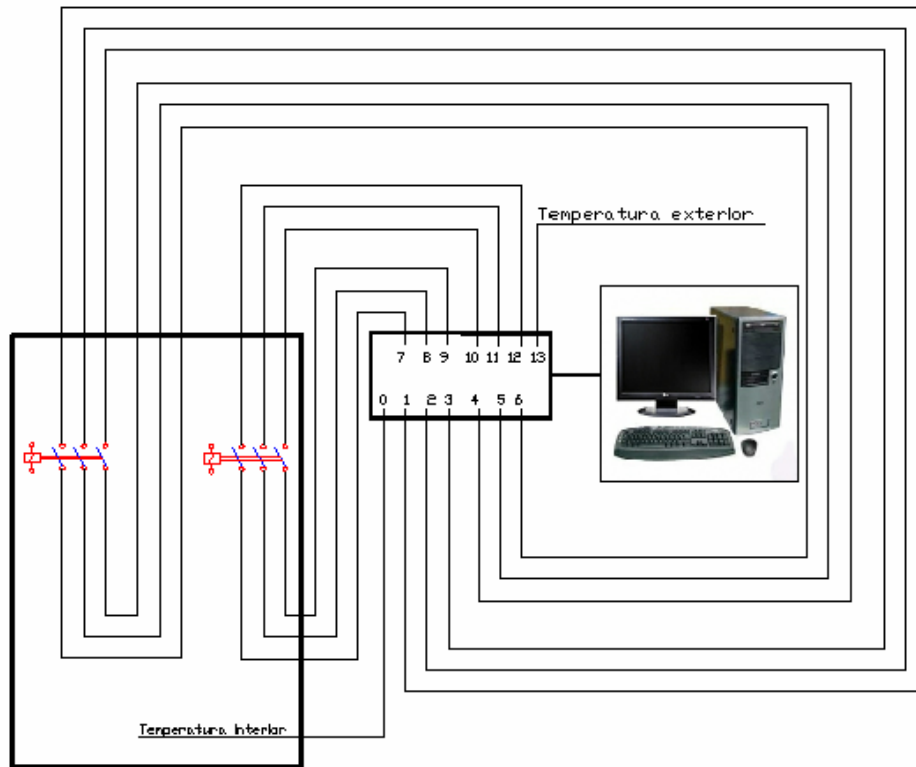
Se observan ligeras diferencias en la Tabla 3-22 entre los valores de resistencia obtenidos de un modelo a otro, esto puede ser debido a pertenecer a diferentes lotes de fabricación.

A continuación se debe montar en el laboratorio el circuito que corresponde con el Esquema 3-2 aunque los dos contactores son los únicos componentes que se deben ubicar dentro de la envolvente o armario metálico.



Esquema 3-2: Circuito de control y potencia para el ensayo de aumento de temperatura.

Paralelamente al circuito del Esquema 3-2 se debe montar también el representado en el Esquema 3-3. Además debe programarse el software de tal manera que realice una lectura por minuto de cada termopar, esta programación es sencilla pero queda fuera del alcance de este proyecto. La colocación de estos termopares en el ensayo es la que indica el Esquema 3-3:



Esquema 3-3: Circuito de montaje de termopares para la adquisición de datos en el ensayo de aumento de temperatura.

En el Esquema 3-2 existen dos circuitos distintos e independientes uno del otro, el primero formado por una fuente de tensión variable con un interruptor de apertura en carga en su la salida por seguridad, este circuito debe alimentar a las bobinas de los dos contactores ensayados a su tensión nominal, U_n , ya que es necesario para cerrar el segundo circuito, el de potencia.

El segundo circuito está alimentado a través de una toma de corriente convencional, por medio de un interruptor de apertura en carga se alimenta un variador de tensión y este a su vez, sirve para variar la tensión de alimentación del primario de un transformador de corriente, de esta forma se puede obtener en el secundario la corriente necesaria para realizar el ensayo de temperatura. El funcionamiento de este circuito es obtener a partir de una baja corriente y alta tensión, una alta corriente pero a una baja tensión. Esta corriente obtenida gracias al transformador será la que circulará por todos los polos del contactor durante todo el ensayo.

Para tener controlada la corriente de ensayo en todo momento se utiliza una pinza amperimétrica de gran precisión y exactitud, como es obvio al comienzo del ensayo hay que vigilar muy cuidadosamente la corriente, ya que todos los elementos que componen el circuito de potencia se calientan y por tanto su resistividad eléctrica aumenta, dando lugar a una bajada en la corriente que circula, esta pequeña bajada se arregla manipulando el variador para elevar la tensión de entrada del transformador y como consecuencia la corriente en el secundario del mismo.

Después de un tiempo en torno a 20 o 30 minutos los conductores del circuito llegan a un equilibrio térmico y la corriente es estable durante el resto del ensayo de aumento de temperatura.

La Figura 3-4 muestra el montaje completo para este ensayo en el laboratorio:



Figura 3-4: Montaje completo para el ensayo de Aumento de Temperatura

Se aprecia como el software de la tarjeta de adquisición de datos muestra una gráfica en tiempo real con la evolución de la temperatura de los termopares colocados en los terminales del contactor, en la parte interior de la envolvente metálica y a un metro aproximadamente del ensayo para medir la temperatura ambiente.

La normativa exige que se mida la caída de tensión en los polos del contactor al inicio y al final del ensayo, como se indica en la Figura 3-5:

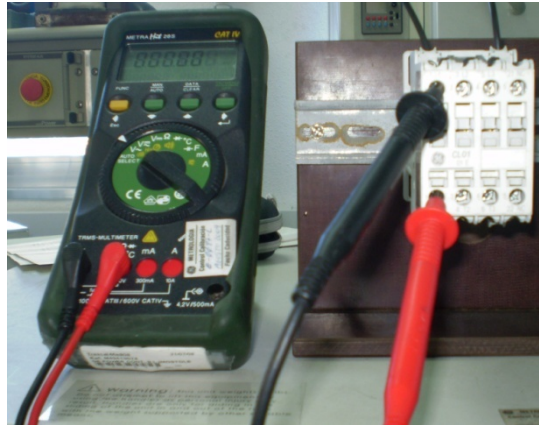


Figura 3-5: Medida de la caída de tensión en el polo de un contactor.

El método de caída de tensión funciona de la siguiente manera:

- Se inicia el ensayo de aumento de temperatura aplicando la corriente de funcionamiento nominal a todas las fases de potencia del contactor.
- Se mide en un primer momento la caída de tensión que existe en cada uno de los 3 polos del contactor.
- Cuando se llega a un equilibrio térmico y no aumenta la temperatura en los terminales se repite la medición de caída de tensión en los 3 polos, esta caída es mayor ya que el aumento de temperatura ha aumentado la resistividad del material de los terminales, y a mayor resistencia mayor caída de tensión.
- Después de los ensayos de capacidad operacional mecánica y eléctrica se repite el ensayo de aumento de temperatura, y por tanto esta medida, si los terminales han quedado dañados se traduce en un aumento de caída de tensión con respecto a la medida tomada anteriormente, en caso contrario y si la medida es igual, se suspende este segundo ensayo de aumento de temperatura dando por hecho que los terminales no han sufrido ningún daño, y que los resultados serán exactamente iguales a los del primer ensayo de aumento de temperatura.

La experiencia en el laboratorio demuestra que este tipo de terminales quedarán afectados en mayor o menor medida después de los ensayos de capacidad operacional mecánica y eléctrica, por tanto, se realizará siempre el segundo ensayo de temperatura sin necesidad de tener que comprobarlo con el método de la caída de tensión, de esta manera también se evita el tener que abrir y manipular el armario metálica, creando así una refrigeración no existente en la realidad.

Los resultados obtenidos con el software son almacenados en tiempo real en un archivo txt con formato de tabla, además le asigna un número sucesivo a cada lectura realizada y aportando en cada una de ellas los datos de la temperatura leída de cada termopar. Posteriormente es posible pasar estos datos a un formato Excel como se aprecia en la Tabla 3-23 y así poder trabajar mejor con ellos y realizar un buen análisis.

| | | Contactor 1 | | | | | | Contactor 2 | | | | | | |
|------------------|----------------|-------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------------|-------|-------|-------|-------|-------|----------------|
| Nº de lectura | Tª exterior | Terminal | | | | | | Terminal | | | | | | Tª interior |
| | | 1L1 | 2T1 | 3L2 | 4T2 | 5L3 | 6T3 | 1L1 | 2T1 | 3L2 | 4T2 | 5L3 | 6T3 | |
| 1 | 23,13 | 25,52 | 24,49 | 25,15 | 24,63 | 24,69 | 24,16 | 25,34 | 24,59 | 25,71 | 24,56 | 25,15 | 24,89 | 25,83 |
| 2 | 22,89 | 30,42 | 28,91 | 28,15 | 28,02 | 27,53 | 26,83 | 27,66 | 26,73 | 28,32 | 28,11 | 27,5 | 28,9 | 25,73 |
| 3 | 22,66 | 32,41 | 31,15 | 29,86 | 29,88 | 29,33 | 28,46 | 29,04 | 28,37 | 30,21 | 30,07 | 28,93 | 30,91 | 25,79 |
| 4 | 22,69 | 33,87 | 32,64 | 31,09 | 31,36 | 30,33 | 29,78 | 30,01 | 29,63 | 31,61 | 31,56 | 30,04 | 32,34 | 25,89 |
| 5 | 22,67 | 34,89 | 33,74 | 32,03 | 32,49 | 31,24 | 30,72 | 30,94 | 30,61 | 32,52 | 32,59 | 30,78 | 33,24 | 26,03 |
| 6 | 22,62 | 35,73 | 34,65 | 32,96 | 33,41 | 31,69 | 31,2 | 31,39 | 31,25 | 32,98 | 33,31 | 31,23 | 33,73 | 26,1 |
| 7 | 22,59 | 36,36 | 35,51 | 33,69 | 34,09 | 32,11 | 31,72 | 31,84 | 32,02 | 33,41 | 33,93 | 31,66 | 34,16 | 26,12 |
| 8 | 22,59 | 37,02 | 36,26 | 34,28 | 34,66 | 32,75 | 32,33 | 32,38 | 32,52 | 33,87 | 34,54 | 31,98 | 34,61 | 26,11 |
| 9 | 22,57 | 37,48 | 36,88 | 34,78 | 35,16 | 33,38 | 32,96 | 32,77 | 32,99 | 34,34 | 34,94 | 32,12 | 35,08 | 26,1 |
| 10 | 22,57 | 37,8 | 37,34 | 35,25 | 35,64 | 33,89 | 33,35 | 33,21 | 33,46 | 34,62 | 35,32 | 32,59 | 35,55 | 26,15 |
| 11 | 22,58 | 38,13 | 37,73 | 35,68 | 36 | 34,23 | 33,55 | 33,67 | 33,88 | 34,83 | 35,66 | 32,93 | 35,78 | 26,22 |
| 12 | 22,57 | 38,44 | 37,88 | 36,12 | 36,28 | 34,58 | 33,89 | 33,92 | 34,13 | 35,24 | 36 | 33,04 | 35,98 | 26,45 |
| 13 | 22,78 | 38,65 | 38,23 | 36,51 | 36,66 | 34,83 | 34,23 | 34,09 | 34,32 | 35,49 | 36,22 | 33,44 | 36,39 | 26,48 |
| 14 | 22,95 | 38,91 | 38,54 | 36,74 | 36,83 | 35,3 | 34,3 | 34,52 | 34,75 | 35,66 | 36,48 | 33,57 | 36,45 | 26,49 |
| 15 | 22,94 | 39,08 | 38,69 | 37,02 | 37,15 | 35,72 | 34,75 | 34,64 | 34,85 | 36,09 | 36,78 | 33,91 | 36,86 | 26,5 |
| 16 | 22,95 | 39,35 | 38,97 | 37,41 | 37,38 | 35,82 | 34,77 | 34,99 | 35,24 | 36,21 | 36,97 | 34,07 | 36,88 | 26,56 |
| 17 | 22,79 | 39,46 | 39,13 | 37,51 | 37,62 | 36,21 | 35,21 | 35,25 | 35,3 | 36,56 | 37,22 | 34,35 | 37,31 | 26,71 |
| 18 | 22,48 | 39,59 | 39,23 | 37,86 | 37,81 | 36,54 | 35,17 | 35,39 | 35,62 | 36,7 | 37,29 | 34,34 | 37,29 | 26,86 |
| 19 | 22,45 | 39,76 | 39,52 | 38 | 38 | 36,63 | 35,57 | 35,6 | 35,65 | 36,97 | 37,64 | 34,76 | 37,67 | 26,87 |
| 20 | 22,4 | 39,95 | 39,56 | 38,31 | 38,23 | 37,08 | 35,62 | 35,84 | 36,05 | 37,19 | 37,78 | 34,77 | 37,73 | 26,87 |
| 21 | 22,4 | 40,19 | 39,91 | 38,52 | 38,41 | 37,31 | 35,94 | 35,97 | 36,09 | 37,43 | 38,04 | 35,11 | 37,95 | 26,87 |
| 22 | 22,37 | 40,3 | 40 | 38,77 | 38,58 | 37,53 | 36,07 | 36,29 | 36,3 | 37,57 | 38,24 | 35,21 | 38,16 | 26,87 |
| 23 | 22,69 | 40,23 | 39,94 | 38,85 | 38,57 | 37,56 | 36,04 | 36,26 | 36,3 | 37,74 | 38,17 | 35,18 | 38,13 | 26,91 |
| 24 | 22,69 | 40,19 | 39,88 | 38,89 | 38,59 | 37,76 | 36,07 | 36,25 | 36,37 | 37,81 | 38,24 | 35,3 | 38,1 | 27,18 |
| 25 | 22,3 | 40,19 | 39,89 | 39,1 | 38,67 | 37,93 | 36,2 | 36,39 | 36,47 | 37,81 | 38,33 | 35,48 | 38,09 | 27,25 |
| 26 | 22,31 | 40,2 | 39,91 | 39,16 | 38,71 | 37,93 | 36,42 | 36,54 | 36,48 | 37,83 | 38,37 | 35,6 | 38,09 | 27,25 |
| 27 | 22,73 | 40,23 | 39,9 | 39,17 | 38,78 | 37,95 | 36,47 | 36,69 | 36,48 | 37,97 | 38,48 | 35,6 | 38,16 | 27,25 |
| 28 | 22,71 | 40,3 | 39,93 | 39,34 | 38,92 | 38,28 | 36,47 | 36,69 | 36,54 | 38,24 | 38,58 | 35,67 | 38,44 | 27,25 |
| 29 | 22,35 | 40,35 | 40,03 | 39,49 | 39,02 | 38,39 | 36,49 | 36,7 | 36,62 | 38,27 | 38,6 | 35,94 | 38,55 | 27,27 |
| 30 | 22,54 | 40,46 | 40,12 | 39,62 | 39,11 | 38,39 | 36,73 | 36,84 | 36,84 | 38,28 | 38,72 | 36,06 | 38,56 | 27,33 |
| 31 | 22,68 | 40,54 | 40,27 | 39,65 | 39,18 | 38,43 | 36,93 | 37,13 | 36,89 | 38,46 | 38,82 | 36,07 | 38,56 | 27,52 |
| 32 | 22,77 | 40,6 | 40,34 | 39,78 | 39,27 | 38,68 | 36,94 | 37,15 | 36,93 | 38,7 | 38,92 | 36,14 | 38,61 | 27,62 |
| 33 | 22,69 | 40,65 | 40,38 | 39,98 | 39,39 | 38,85 | 36,94 | 37,16 | 36,94 | 38,75 | 39,02 | 36,41 | 38,82 | 27,72 |
| 34 | 22,75 | 40,74 | 40,38 | 40,1 | 39,47 | 38,86 | 37,04 | 37,2 | 37,01 | 38,77 | 39,1 | 36,54 | 39,02 | 27,72 |
| 35 | 22,72 | 40,84 | 40,38 | 40,15 | 39,58 | 38,87 | 37,28 | 37,37 | 37,17 | 38,92 | 39,11 | 36,54 | 39,02 | 27,72 |
| 36 | 22,31 | 40,93 | 40,38 | 40,31 | 39,65 | 38,91 | 37,4 | 37,55 | 37,25 | 39,16 | 39,21 | 36,6 | 39,02 | 27,72 |
| 37 | 22,3 | 41,01 | 40,5 | 40,51 | 39,69 | 39,21 | 37,39 | 37,63 | 37,37 | 39,21 | 39,37 | 36,9 | 39,07 | 27,76 |
| 38 | 22,28 | 41,05 | 40,58 | 40,56 | 39,8 | 39,33 | 37,4 | 37,63 | 37,41 | 39,22 | 39,45 | 37,01 | 39,25 | 27,76 |
| 39 | 22,3 | 41,12 | 40,71 | 40,57 | 39,84 | 39,33 | 37,43 | 37,66 | 37,43 | 39,34 | 39,53 | 37,01 | 39,49 | 27,94 |
| 40 | 22,3 | 41,22 | 40,8 | 40,6 | 39,97 | 39,34 | 37,58 | 37,86 | 37,52 | 39,59 | 39,55 | 37,07 | 39,49 | 28,01 |
| 41 | 22,34 | 41,33 | 40,84 | 40,8 | 40,09 | 39,49 | 37,72 | 38,07 | 37,67 | 39,67 | 39,69 | 37,41 | 39,51 | 28,12 |
| 42 | 22,58 | 41,46 | 40,84 | 41 | 40,2 | 39,76 | 37,86 | 38,09 | 37,8 | 39,69 | 39,8 | 37,48 | 39,79 | 28,17 |
| 43 | 22,32 | 41,47 | 40,85 | 41,03 | 40,23 | 39,79 | 37,87 | 38,09 | 37,87 | 39,75 | 39,94 | 37,48 | 39,92 | 28,2 |
| 44 | 22,5 | 41,5 | 40,9 | 41,06 | 40,28 | 39,8 | 37,88 | 38,13 | 37,88 | 39,98 | 40,01 | 37,55 | 39,96 | 28,2 |
| 45 | 22,76 | 41,58 | 40,99 | 41,16 | 40,38 | 39,94 | 37,89 | 38,4 | 37,88 | 40,12 | 40,01 | 37,82 | 39,96 | 28,2 |
| 46 | 22,92 | 41,65 | 41,11 | 41,31 | 40,44 | 40,14 | 37,92 | 38,49 | 37,92 | 40,16 | 40,1 | 37,94 | 39,96 | 28,21 |
| 47 | 22,79 | 41,73 | 41,24 | 41,45 | 40,53 | 40,24 | 38,05 | 38,56 | 37,98 | 40,2 | 40,19 | 37,94 | 39,97 | 28,23 |
| 48 | 23,21 | 41,88 | 41,25 | 41,5 | 40,56 | 40,26 | 38,21 | 38,56 | 38,17 | 40,35 | 40,25 | 37,94 | 40,03 | 28,31 |
| 49 | 22,78 | 41,94 | 41,31 | 41,52 | 40,62 | 40,26 | 38,32 | 38,56 | 38,25 | 40,52 | 40,36 | 37,97 | 40,26 | 28,46 |
| 50 | 22,55 | 42 | 41,32 | 41,57 | 40,75 | 40,27 | 38,35 | 38,6 | 38,3 | 40,6 | 40,41 | 38,07 | 40,39 | 28,55 |
| 51 | 22,55 | 42,06 | 41,35 | 41,76 | 40,78 | 40,36 | 38,38 | 38,84 | 38,38 | 40,65 | 40,52 | 38,35 | 40,46 | 28,65 |
| 52 | 22,58 | 42,16 | 41,4 | 41,9 | 40,85 | 40,64 | 38,42 | 39 | 38,42 | 40,69 | 40,61 | 38,48 | 40,5 | 28,75 |
| 53 | 22,81 | 42,24 | 41,44 | 42,02 | 40,95 | 40,77 | 38,44 | 39,1 | 38,44 | 40,71 | 40,64 | 38,5 | 40,52 | 28,75 |
| 54 | 22,86 | 42,27 | 41,42 | 42,04 | 41,02 | 40,81 | 38,47 | 39,11 | 38,45 | 40,72 | 40,62 | 38,5 | 40,51 | 28,75 |
| 55 | 22,86 | 42,27 | 41,41 | 42,06 | 41,02 | 40,8 | 38,5 | 39,11 | 38,45 | 40,77 | 40,65 | 38,5 | 40,56 | 28,75 |
| 56 | 22,86 | 42,29 | 41,41 | 42,06 | 40,97 | 40,82 | 38,55 | 39,12 | 38,48 | 40,93 | 40,7 | 38,52 | 40,56 | 28,76 |
| 57 | 22,89 | 42,36 | 41,46 | 42,09 | 41,05 | 40,84 | 38,6 | 39,14 | 38,52 | 41,04 | 40,75 | 38,61 | 40,65 | 28,78 |
| 58 | 22,93 | 42,43 | 41,49 | 42,18 | 41,12 | 40,88 | 38,75 | 39,18 | 38,63 | 41,11 | 40,79 | 38,69 | 40,84 | 28,85 |
| 59 | 22,95 | 42,49 | 41,53 | 42,27 | 41,19 | 40,91 | 38,81 | 39,22 | 38,71 | 41,21 | 40,83 | 38,85 | 40,97 | 28,89 |
| 60 | 22,91 | 42,49 | 41,57 | 42,29 | 41,16 | 40,93 | 38,9 | 39,27 | 38,68 | 41,26 | 40,89 | 38,99 | 41,01 | 28,94 |
| 61 | 22,95 | 42,52 | 41,56 | 42,36 | 41,2 | 40,99 | 38,94 | 39,33 | 38,77 | 41,26 | 40,92 | 39,05 | 41,03 | 28,93 |
| 62 | 22,98 | 42,55 | 41,58 | 42,43 | 41,28 | 41,07 | 39 | 39,42 | 38,79 | 41,28 | 40,98 | 39,07 | 41,09 | 29,1 |
| 63 | 23 | 42,64 | 41,63 | 42,63 | 41,36 | 41,31 | 39,04 | 39,61 | 38,97 | 41,33 | 41,01 | 39,12 | 41,12 | 29,17 |
| 64 | 22,8 | 42,65 | 41,67 | 42,62 | 41,29 | 41,34 | 39,07 | 39,62 | 38,97 | 41,35 | 41,13 | 39,14 | 41,15 | 29,3 |
| 65 | 22,76 | 42,66 | 41,72 | 42,63 | 41,43 | 41,42 | 39,07 | 39,73 | 39,01 | 41,34 | 41,09 | 39,14 | 41,15 | 29,33 |
| 66 | 22,6 | 42,69 | 41,78 | 42,71 | 41,41 | 41,45 | 39,08 | 39,76 | 39,07 | 41,39 | 41,14 | 39,16 | 41,16 | 29,35 |
| 67 | 23,07 | 42,79 | 41,87 | 42,75 | 41,42 | 41,5 | 39,13 | 39,8 | 39,1 | 41,46 | 41,23 | 39,2 | 41,21 | 29,44 |

Protocolo de homologación de contactores bajo las normas IEC 60077-1 e IEC 60077-2

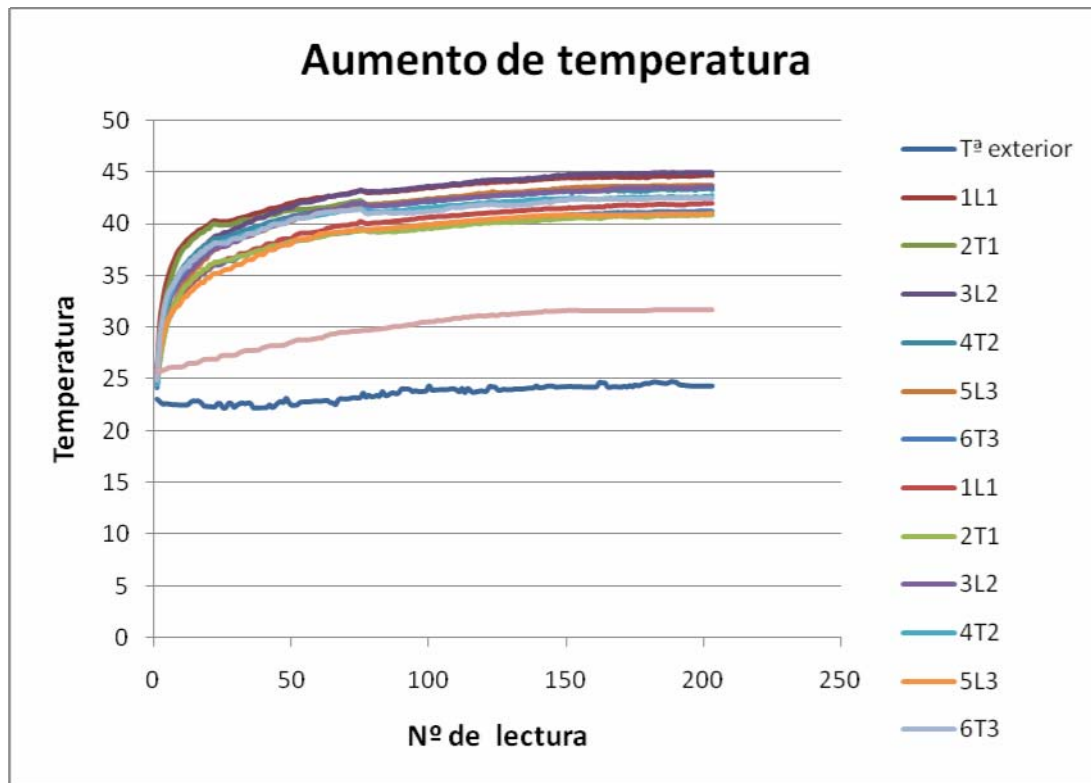
| | | | | | | | | | | | | | | |
|-----|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| 68 | 23,17 | 42,82 | 41,91 | 42,78 | 41,5 | 41,54 | 39,16 | 39,84 | 39,14 | 41,52 | 41,3 | 39,23 | 41,24 | 29,48 |
| 69 | 23,13 | 42,86 | 41,95 | 42,79 | 41,59 | 41,54 | 39,16 | 39,85 | 39,15 | 41,66 | 41,28 | 39,23 | 41,24 | 29,49 |
| 70 | 23,14 | 42,88 | 42 | 42,8 | 41,61 | 41,55 | 39,16 | 39,85 | 39,17 | 41,71 | 41,3 | 39,28 | 41,24 | 29,49 |
| 71 | 23,17 | 42,94 | 42,07 | 42,85 | 41,69 | 41,59 | 39,23 | 39,91 | 39,2 | 41,82 | 41,35 | 39,32 | 41,28 | 29,53 |
| 72 | 23,24 | 43,04 | 42,16 | 42,96 | 41,76 | 41,65 | 39,31 | 39,99 | 39,25 | 41,94 | 41,39 | 39,36 | 41,33 | 29,58 |
| 73 | 23,28 | 43,08 | 42,18 | 43,01 | 41,82 | 41,66 | 39,36 | 39,99 | 39,26 | 41,91 | 41,4 | 39,37 | 41,33 | 29,58 |
| 74 | 23,23 | 43,11 | 42,2 | 43,09 | 41,81 | 41,78 | 39,51 | 40,03 | 39,26 | 41,96 | 41,41 | 39,4 | 41,33 | 29,59 |
| 75 | 23,29 | 43,23 | 42,26 | 43,23 | 41,84 | 41,91 | 39,56 | 40,25 | 39,32 | 42 | 41,53 | 39,45 | 41,37 | 29,63 |
| 76 | 23,71 | 43,14 | 42,07 | 43,13 | 41,8 | 41,96 | 39,54 | 40,13 | 39,34 | 42 | 41,42 | 39,42 | 41,23 | 29,67 |
| 77 | 23,32 | 43,02 | 41,87 | 43,14 | 41,72 | 41,91 | 39,47 | 40,03 | 39,32 | 41,79 | 41,4 | 39,41 | 40,97 | 29,68 |
| 78 | 23,49 | 42,97 | 41,86 | 43,06 | 41,69 | 41,81 | 39,34 | 40,02 | 39,23 | 41,71 | 41,32 | 39,41 | 40,95 | 29,67 |
| 79 | 23,35 | 43,01 | 41,88 | 43,11 | 41,7 | 41,79 | 39,38 | 40,07 | 39,22 | 41,69 | 41,28 | 39,45 | 40,99 | 29,72 |
| 80 | 23,39 | 43 | 41,92 | 43,1 | 41,75 | 41,82 | 39,45 | 40,11 | 39,24 | 41,73 | 41,24 | 39,49 | 41,03 | 29,77 |
| 81 | 23,48 | 43,06 | 41,92 | 43,08 | 41,79 | 41,82 | 39,44 | 40,12 | 39,19 | 41,72 | 41,24 | 39,49 | 41,04 | 29,77 |
| 82 | 23,4 | 43 | 41,93 | 43,08 | 41,77 | 41,81 | 39,42 | 40,11 | 39,18 | 41,74 | 41,23 | 39,49 | 41,02 | 29,8 |
| 83 | 23,85 | 43,06 | 41,96 | 43,1 | 41,78 | 41,87 | 39,48 | 40,15 | 39,22 | 41,74 | 41,24 | 39,53 | 41,08 | 29,84 |
| 84 | 23,49 | 43,09 | 42,01 | 43,17 | 41,79 | 41,91 | 39,51 | 40,19 | 39,23 | 41,79 | 41,29 | 39,56 | 41,11 | 29,87 |
| 85 | 23,49 | 43,06 | 42 | 43,15 | 41,79 | 41,9 | 39,52 | 40,2 | 39,27 | 41,8 | 41,3 | 39,57 | 41,06 | 29,92 |
| 86 | 23,67 | 43,1 | 42,02 | 43,17 | 41,82 | 41,93 | 39,52 | 40,21 | 39,23 | 41,8 | 41,24 | 39,58 | 41,01 | 29,96 |
| 87 | 23,73 | 43,1 | 42,06 | 43,21 | 41,79 | 41,96 | 39,58 | 40,26 | 39,22 | 41,86 | 41,31 | 39,62 | 41,01 | 30,05 |
| 88 | 23,63 | 43,1 | 42,08 | 43,22 | 41,78 | 41,99 | 39,6 | 40,29 | 39,22 | 41,87 | 41,32 | 39,62 | 41 | 30,05 |
| 89 | 23,76 | 43,16 | 42,08 | 43,23 | 41,82 | 41,99 | 39,6 | 40,29 | 39,28 | 41,88 | 41,3 | 39,63 | 41,04 | 30,03 |
| 90 | 24,1 | 43,22 | 42,14 | 43,28 | 41,94 | 42,04 | 39,65 | 40,34 | 39,3 | 41,93 | 41,32 | 39,68 | 41,06 | 30,07 |
| 91 | 24,1 | 43,21 | 42,18 | 43,31 | 41,91 | 42,08 | 39,68 | 40,37 | 39,3 | 41,96 | 41,37 | 39,73 | 41,04 | 30,13 |
| 92 | 24,11 | 43,21 | 42,16 | 43,32 | 41,92 | 42,07 | 39,69 | 40,37 | 39,32 | 41,96 | 41,4 | 39,72 | 40,98 | 30,15 |
| 93 | 24,04 | 43,27 | 42,2 | 43,38 | 41,93 | 42,13 | 39,76 | 40,44 | 39,36 | 42,02 | 41,47 | 39,77 | 41,11 | 30,26 |
| 94 | 23,85 | 43,32 | 42,23 | 43,4 | 41,96 | 42,16 | 39,78 | 40,45 | 39,35 | 42,05 | 41,47 | 39,78 | 40,99 | 30,22 |
| 95 | 23,93 | 43,3 | 42,26 | 43,42 | 41,99 | 42,17 | 39,79 | 40,47 | 39,39 | 42,06 | 41,48 | 39,73 | 41,09 | 30,3 |
| 96 | 23,86 | 43,36 | 42,3 | 43,48 | 42,08 | 42,26 | 39,86 | 40,55 | 39,5 | 42,13 | 41,56 | 39,83 | 41,13 | 30,36 |
| 97 | 23,85 | 43,41 | 42,32 | 43,51 | 42,11 | 42,25 | 39,86 | 40,56 | 39,5 | 42,14 | 41,58 | 39,86 | 41,11 | 30,44 |
| 98 | 23,87 | 43,4 | 42,32 | 43,5 | 42,14 | 42,27 | 39,89 | 40,57 | 39,46 | 42,16 | 41,56 | 39,93 | 41,13 | 30,46 |
| 99 | 23,93 | 43,5 | 42,41 | 43,59 | 42,16 | 42,33 | 39,97 | 40,63 | 39,57 | 42,22 | 41,64 | 39,93 | 41,18 | 30,49 |
| 100 | 24,4 | 43,47 | 42,44 | 43,6 | 42,11 | 42,35 | 39,95 | 40,64 | 39,54 | 42,22 | 41,63 | 39,89 | 41,17 | 30,49 |
| 101 | 24 | 43,46 | 42,38 | 43,58 | 42,18 | 42,34 | 39,95 | 40,64 | 39,52 | 42,22 | 41,6 | 39,92 | 41,14 | 30,51 |
| 102 | 23,99 | 43,51 | 42,41 | 43,62 | 42,12 | 42,38 | 40 | 40,68 | 39,61 | 42,27 | 41,68 | 40 | 41,27 | 30,51 |
| 103 | 24,01 | 43,58 | 42,51 | 43,65 | 42,29 | 42,43 | 40,03 | 40,71 | 39,6 | 42,3 | 41,7 | 40,01 | 41,25 | 30,65 |
| 104 | 24,03 | 43,6 | 42,51 | 43,67 | 42,26 | 42,46 | 40,04 | 40,73 | 39,63 | 42,31 | 41,71 | 40 | 41,28 | 30,61 |
| 105 | 24,03 | 43,57 | 42,51 | 43,66 | 42,23 | 42,46 | 40,04 | 40,73 | 39,66 | 42,31 | 41,71 | 40,07 | 41,27 | 30,61 |
| 106 | 24,02 | 43,62 | 42,54 | 43,73 | 42,3 | 42,46 | 40,05 | 40,73 | 39,68 | 42,32 | 41,77 | 40,07 | 41,38 | 30,68 |
| 107 | 24,05 | 43,65 | 42,56 | 43,72 | 42,37 | 42,51 | 40,09 | 40,75 | 39,72 | 42,34 | 41,78 | 40,1 | 41,45 | 30,68 |
| 108 | 24,11 | 43,71 | 42,62 | 43,83 | 42,42 | 42,58 | 40,14 | 40,81 | 39,75 | 42,41 | 41,89 | 40,16 | 41,56 | 30,76 |
| 109 | 24,11 | 43,73 | 42,63 | 43,87 | 42,4 | 42,57 | 40,18 | 40,82 | 39,83 | 42,4 | 41,81 | 40,17 | 41,56 | 30,84 |
| 110 | 23,99 | 43,73 | 42,62 | 43,83 | 42,45 | 42,63 | 40,16 | 40,82 | 39,82 | 42,41 | 41,81 | 40,16 | 41,53 | 30,85 |
| 111 | 23,84 | 43,71 | 42,63 | 43,82 | 42,47 | 42,61 | 40,16 | 40,82 | 39,8 | 42,41 | 41,82 | 40,19 | 41,55 | 30,83 |
| 112 | 24,15 | 43,78 | 42,64 | 43,85 | 42,46 | 42,64 | 40,18 | 40,85 | 39,8 | 42,46 | 41,86 | 40,17 | 41,53 | 30,89 |
| 113 | 23,75 | 43,82 | 42,69 | 43,95 | 42,48 | 42,67 | 40,24 | 40,9 | 39,86 | 42,48 | 41,92 | 40,27 | 41,62 | 30,96 |
| 114 | 24,14 | 43,81 | 42,72 | 43,95 | 42,49 | 42,7 | 40,25 | 40,9 | 39,91 | 42,5 | 41,94 | 40,26 | 41,68 | 30,9 |
| 115 | 23,94 | 43,81 | 42,71 | 44 | 42,51 | 42,76 | 40,27 | 40,92 | 39,93 | 42,51 | 41,95 | 40,28 | 41,73 | 31 |
| 116 | 23,76 | 43,87 | 42,73 | 43,99 | 42,59 | 42,8 | 40,29 | 40,95 | 39,99 | 42,54 | 41,94 | 40,3 | 41,7 | 31,01 |
| 117 | 23,82 | 43,94 | 42,78 | 44,11 | 42,65 | 42,84 | 40,33 | 40,98 | 40,03 | 42,59 | 42,02 | 40,35 | 41,71 | 31,03 |
| 118 | 23,87 | 43,91 | 42,81 | 44,05 | 42,58 | 42,92 | 40,37 | 40,99 | 39,98 | 42,6 | 42,04 | 40,38 | 41,77 | 31,1 |
| 119 | 23,92 | 43,93 | 42,81 | 44,15 | 42,66 | 42,88 | 40,35 | 41 | 40,02 | 42,61 | 42,03 | 40,37 | 41,77 | 31,08 |
| 120 | 23,86 | 43,95 | 42,81 | 44,15 | 42,7 | 42,9 | 40,35 | 41,03 | 40,06 | 42,62 | 42,01 | 40,38 | 41,85 | 31,04 |
| 121 | 23,91 | 43,91 | 42,83 | 44,18 | 42,62 | 42,94 | 40,4 | 41,05 | 40,08 | 42,64 | 42,11 | 40,4 | 41,8 | 31,09 |
| 122 | 24,34 | 44,01 | 42,87 | 44,19 | 42,68 | 42,95 | 40,44 | 41,08 | 40,05 | 42,67 | 42,16 | 40,44 | 41,82 | 31,11 |
| 123 | 24,28 | 44 | 42,89 | 44,21 | 42,72 | 43,09 | 40,45 | 41,1 | 40,11 | 42,71 | 42,15 | 40,47 | 41,85 | 31,16 |
| 124 | 24,29 | 44,01 | 42,89 | 44,2 | 42,72 | 43 | 40,43 | 41,1 | 40,09 | 42,71 | 42,14 | 40,47 | 41,84 | 31,09 |
| 125 | 23,99 | 44,03 | 42,9 | 44,22 | 42,74 | 42,98 | 40,44 | 41,11 | 40,09 | 42,7 | 42,1 | 40,47 | 41,76 | 31,1 |
| 126 | 23,96 | 44,03 | 42,93 | 44,22 | 42,73 | 42,94 | 40,5 | 41,14 | 40,09 | 42,75 | 42,12 | 40,51 | 41,76 | 31,21 |
| 127 | 24,08 | 44,09 | 42,94 | 44,23 | 42,77 | 43,01 | 40,51 | 41,18 | 40,16 | 42,82 | 42,2 | 40,56 | 41,82 | 31,24 |
| 128 | 24,02 | 44,04 | 42,98 | 44,21 | 42,75 | 43,02 | 40,53 | 41,19 | 40,13 | 42,79 | 42,18 | 40,54 | 41,73 | 31,2 |
| 129 | 24,03 | 44,05 | 42,98 | 44,24 | 42,8 | 43,02 | 40,49 | 41,2 | 40,13 | 42,79 | 42,17 | 40,56 | 41,81 | 31,18 |
| 130 | 24,02 | 44,09 | 42,97 | 44,23 | 42,77 | 43,01 | 40,51 | 41,19 | 40,09 | 42,78 | 42,2 | 40,58 | 41,75 | 31,26 |
| 131 | 24,09 | 44,14 | 43 | 44,26 | 42,8 | 43,04 | 40,56 | 41,24 | 40,16 | 42,83 | 42,24 | 40,62 | 41,78 | 31,26 |
| 132 | 24,1 | 44,13 | 43,01 | 44,25 | 42,8 | 43,04 | 40,57 | 41,26 | 40,14 | 42,85 | 42,22 | 40,64 | 41,78 | 31,25 |
| 133 | 24,09 | 44,07 | 42,97 | 44,3 | 42,82 | 43,04 | 40,58 | 41,26 | 40,2 | 42,85 | 42,26 | 40,63 | 41,78 | 31,31 |
| 134 | 24,09 | 44,11 | 42,98 | 44,27 | 42,77 | 43,04 | 40,58 | 41,26 | 40,21 | 42,86 | 42,25 | 40,64 | 41,76 | 31,3 |
| 135 | 24,13 | 44,12 | 43,04 | 44,31 | 42,85 | 43,09 | 40,63 | 41,3 | 40,2 | 42,9 | 42,28 | 40,69 | 41,82 | 31,34 |
| 136 | 24,17 | 44,18 | 43,1 | 44,4 | 42,93 | 43,11 | 40,65 | 41,34 | 40,26 | 42,94 | 42,36 | 40,72 | 41,85 | 31,35 |
| 137 | 24,18 | 44,19 | 43,08 | 44,36 | 42,89 | 43,16 | 40,66 | 41,35 | 40,29 | 42,98 | 42,39 | 40,73 | 41,85 | 31,36 |
| 138 | 24,19 | 44,19 | 43,12 | 44,34 | 42,89 | 43,16 | 40,66 | 41,36 | 40,25 | 42,96 | 42,37 | 40,73 | 41,97 | 31,38 |
| 139 | 24,4 | 44,26 | 43,15 | 44,41 | 42,94 | 43,17 | 40,68 | 41,36 | 40,26 | 42,94 | 42,35 | 40,73 | 41,94 | 31,4 |
| 140 | 24,2 | 44,24 | 43,18 | 44,43 | 43 | 43,22 | 40,74 | 41,38 | 40,28 | 42,97 | 42,39 | 40,75 | 42,02 | 31,44 |
| 141 | 24,23 | 44,27 | 43,2 | 44,46 | 43 | 43,23 | 40,74 | 41,4 | 40,37 | 43,01 | 42,43 | 40,78 | 42,02 | 31,42 |
| 142 | 24,26 | 44,33 | 43,22 | 44,53 | 42,97 | 43,24 | 40,75 | 41,45 | 40,38 | 43,03 | 42,48 | 40,8 | 42,08 | 31,54 |
| 143 | 24,39 | 44,33 | 43,24 | 44,48 | 43,02 | 43,23 | 40,77 | 41,44 | 40,38 | 43,04 | 42,43 | 40,82 | 42,1 | 31,51 |
| 144 | 24,36 | 44,34 | 43,23 | 44,5 | 43,07 | 43,24 | 40,78 | 41,45 | 40,34 | 43,05 | 42,42 | 40,82 | 41,99 | 31,5 |
| 145 | 24,37 | 44,35 | 43,24 | 44,6 | 43,08 | 43,34 | 40,82 | 41,45 | 40,41 | 43,05 | 42,42 | 40,82 | 42,12 | 31,51 |
| 146 | 24,27 | 44,38 | 43,25 | 44,62 | 43,1 | 43,33 | 40,82 | 41,47 | 40,42 | 43,08 | 42,44 | 40,82 | 42,19 | 31,53 |
| 147 | 24,28 | 44,37 | 43,25 | 44,68 | 43,13 | 43,32 | 40,79 | 41,45 | 40,46 | 43,07 | 42,45 | 40,83 | 42,23 | 31,52 |
| 148 | 24,3 | 44,41 | 43,26 | 44,62 | 43,16 | 43,43 | 40,81 | 41,45 | 40,45 | 43,1 | 42,44 | 40,84 | 42,23 | 31,56 |
| 149 | 24,3 | 44,41 | 43,28 | 44,67 | 43,08 | 43,4 | 40,85 | | | | | | | |

| | | | | | | | | | | | | | | |
|------------------------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| 150 | 24,32 | 44,43 | 43,28 | 44,68 | 43,19 | 43,46 | 40,87 | 41,49 | 40,5 | 43,14 | 42,47 | 40,86 | 42,25 | 31,58 |
| 151 | 24,33 | 44,44 | 43,3 | 44,78 | 43,2 | 43,41 | 40,89 | 41,58 | 40,48 | 43,11 | 42,51 | 40,88 | 42,34 | 31,62 |
| 152 | 24,32 | 44,41 | 43,29 | 44,68 | 43 | 43,5 | 40,92 | 41,51 | 40,5 | 43,07 | 42,55 | 40,86 | 42,32 | 31,6 |
| 153 | 24,31 | 44,44 | 43,29 | 44,77 | 43,24 | 43,48 | 40,92 | 41,55 | 40,55 | 43,15 | 42,47 | 40,86 | 42,34 | 31,61 |
| 154 | 24,3 | 44,41 | 43,27 | 44,74 | 43,13 | 43,53 | 40,89 | 41,54 | 40,58 | 43,11 | 42,5 | 40,85 | 42,32 | 31,59 |
| 155 | 24,29 | 44,41 | 43,27 | 44,73 | 43,1 | 43,48 | 40,94 | 41,59 | 40,55 | 43,12 | 42,53 | 40,84 | 42,35 | 31,58 |
| 156 | 24,29 | 44,46 | 43,26 | 44,76 | 43,18 | 43,51 | 40,97 | 41,6 | 40,56 | 43,18 | 42,48 | 40,83 | 42,36 | 31,57 |
| 157 | 24,27 | 44,43 | 43,25 | 44,78 | 43,14 | 43,54 | 40,95 | 41,6 | 40,55 | 43,16 | 42,47 | 40,83 | 42,34 | 31,57 |
| 158 | 24,27 | 44,45 | 43,25 | 44,78 | 43,13 | 43,52 | 40,96 | 41,61 | 40,51 | 43,18 | 42,42 | 40,82 | 42,34 | 31,57 |
| 159 | 24,28 | 44,46 | 43,25 | 44,8 | 43,22 | 43,53 | 41 | 41,62 | 40,56 | 43,15 | 42,43 | 40,83 | 42,31 | 31,57 |
| 160 | 24,27 | 44,45 | 43,25 | 44,77 | 43,2 | 43,52 | 41,05 | 41,6 | 40,52 | 43,14 | 42,44 | 40,82 | 42,35 | 31,57 |
| 161 | 24,31 | 44,47 | 43,25 | 44,81 | 43,25 | 43,58 | 41,01 | 41,63 | 40,59 | 43,12 | 42,39 | 40,82 | 42,36 | 31,57 |
| 162 | 24,73 | 44,51 | 43,25 | 44,8 | 43,24 | 43,55 | 41,05 | 41,65 | 40,48 | 43,15 | 42,41 | 40,82 | 42,33 | 31,57 |
| 163 | 24,67 | 44,45 | 43,25 | 44,8 | 43,21 | 43,58 | 40,95 | 41,61 | 40,52 | 43,18 | 42,43 | 40,82 | 42,36 | 31,57 |
| 164 | 24,67 | 44,49 | 43,26 | 44,82 | 43,24 | 43,56 | 41,1 | 41,68 | 40,59 | 43,27 | 42,5 | 40,82 | 42,35 | 31,57 |
| 165 | 24,27 | 44,48 | 43,25 | 44,83 | 43,14 | 43,58 | 41,09 | 41,75 | 40,67 | 43,25 | 42,5 | 40,82 | 42,37 | 31,57 |
| 166 | 24,27 | 44,48 | 43,26 | 44,78 | 43,22 | 43,58 | 41,11 | 41,69 | 40,65 | 43,36 | 42,53 | 40,82 | 42,37 | 31,57 |
| 167 | 24,31 | 44,54 | 43,27 | 44,84 | 43,36 | 43,6 | 41,12 | 41,76 | 40,72 | 43,39 | 42,49 | 40,82 | 42,37 | 31,57 |
| 168 | 24,32 | 44,51 | 43,26 | 44,84 | 43,32 | 43,6 | 41,15 | 41,76 | 40,69 | 43,39 | 42,49 | 40,84 | 42,37 | 31,57 |
| 169 | 24,27 | 44,49 | 43,27 | 44,84 | 43,17 | 43,6 | 41,16 | 41,8 | 40,71 | 43,39 | 42,59 | 40,84 | 42,37 | 31,57 |
| 170 | 24,27 | 44,48 | 43,26 | 44,83 | 43,23 | 43,58 | 41,08 | 41,81 | 40,72 | 43,43 | 42,53 | 40,84 | 42,37 | 31,57 |
| 171 | 24,36 | 44,45 | 43,27 | 44,81 | 43,15 | 43,59 | 41,18 | 41,8 | 40,69 | 43,4 | 42,61 | 40,84 | 42,37 | 31,57 |
| 172 | 24,27 | 44,5 | 43,25 | 44,8 | 43,28 | 43,59 | 41,12 | 41,84 | 40,7 | 43,45 | 42,56 | 40,84 | 42,37 | 31,57 |
| 173 | 24,42 | 44,45 | 43,27 | 44,83 | 43,2 | 43,59 | 41,13 | 41,79 | 40,67 | 43,46 | 42,59 | 40,84 | 42,37 | 31,57 |
| 174 | 24,3 | 44,48 | 43,27 | 44,82 | 43,18 | 43,6 | 41,14 | 41,81 | 40,67 | 43,43 | 42,63 | 40,86 | 42,37 | 31,57 |
| 175 | 24,49 | 44,46 | 43,25 | 44,83 | 43,17 | 43,59 | 41,11 | 41,8 | 40,68 | 43,46 | 42,62 | 40,89 | 42,37 | 31,57 |
| 176 | 24,39 | 44,45 | 43,25 | 44,82 | 43,16 | 43,6 | 41,17 | 41,77 | 40,65 | 43,42 | 42,55 | 40,86 | 42,37 | 31,57 |
| 177 | 24,46 | 44,44 | 43,25 | 44,82 | 43,14 | 43,59 | 41,14 | 41,8 | 40,67 | 43,43 | 42,64 | 40,85 | 42,36 | 31,57 |
| 178 | 24,58 | 44,52 | 43,26 | 44,83 | 43,21 | 43,58 | 41,14 | 41,8 | 40,67 | 43,41 | 42,58 | 40,85 | 42,37 | 31,57 |
| 179 | 24,64 | 44,42 | 43,27 | 44,83 | 43,15 | 43,59 | 41,11 | 41,84 | 40,59 | 43,44 | 42,63 | 40,87 | 42,37 | 31,58 |
| 180 | 24,61 | 44,49 | 43,29 | 44,85 | 43,23 | 43,61 | 41,14 | 41,85 | 40,65 | 43,4 | 42,6 | 40,86 | 42,4 | 31,6 |
| 181 | 24,72 | 44,56 | 43,31 | 44,86 | 43,32 | 43,65 | 41,16 | 41,83 | 40,68 | 43,47 | 42,59 | 40,89 | 42,42 | 31,62 |
| 182 | 24,77 | 44,58 | 43,34 | 44,92 | 43,34 | 43,67 | 41,21 | 41,85 | 40,74 | 43,51 | 42,6 | 40,91 | 42,45 | 31,65 |
| 183 | 24,74 | 44,55 | 43,36 | 44,91 | 43,32 | 43,67 | 41,23 | 41,9 | 40,79 | 43,49 | 42,63 | 40,91 | 42,45 | 31,65 |
| 184 | 24,69 | 44,6 | 43,36 | 44,92 | 43,39 | 43,68 | 41,23 | 41,88 | 40,74 | 43,49 | 42,65 | 40,92 | 42,45 | 31,66 |
| 185 | 24,65 | 44,6 | 43,36 | 44,92 | 43,38 | 43,67 | 41,25 | 41,88 | 40,73 | 43,43 | 42,59 | 40,92 | 42,45 | 31,66 |
| 186 | 24,62 | 44,6 | 43,36 | 44,92 | 43,47 | 43,66 | 41,22 | 41,88 | 40,74 | 43,44 | 42,53 | 40,92 | 42,45 | 31,66 |
| 187 | 24,67 | 44,51 | 43,36 | 44,9 | 43,28 | 43,61 | 41,24 | 41,85 | 40,74 | 43,46 | 42,68 | 40,91 | 42,45 | 31,66 |
| 188 | 24,79 | 44,56 | 43,36 | 44,92 | 43,35 | 43,63 | 41,21 | 41,88 | 40,76 | 43,48 | 42,68 | 40,91 | 42,45 | 31,66 |
| 189 | 24,77 | 44,59 | 43,35 | 44,92 | 43,25 | 43,65 | 41,21 | 41,87 | 40,79 | 43,43 | 42,69 | 40,92 | 42,45 | 31,66 |
| 190 | 24,72 | 44,57 | 43,36 | 44,91 | 43,4 | 43,67 | 41,2 | 41,82 | 40,74 | 43,44 | 42,59 | 40,91 | 42,45 | 31,66 |
| 191 | 24,51 | 44,59 | 43,35 | 44,92 | 43,34 | 43,66 | 41,22 | 41,83 | 40,82 | 43,47 | 42,63 | 40,91 | 42,46 | 31,66 |
| 192 | 24,44 | 44,58 | 43,35 | 44,91 | 43,33 | 43,68 | 41,21 | 41,84 | 40,76 | 43,4 | 42,62 | 40,91 | 42,45 | 31,66 |
| 193 | 24,44 | 44,58 | 43,34 | 44,92 | 43,37 | 43,67 | 41,25 | 41,84 | 40,79 | 43,46 | 42,6 | 40,92 | 42,44 | 31,66 |
| 194 | 24,39 | 44,6 | 43,35 | 44,92 | 43,33 | 43,67 | 41,19 | 41,88 | 40,75 | 43,42 | 42,62 | 40,92 | 42,46 | 31,66 |
| 195 | 24,38 | 44,56 | 43,36 | 44,94 | 43,39 | 43,69 | 41,23 | 41,94 | 40,8 | 43,46 | 42,59 | 40,93 | 42,47 | 31,67 |
| 196 | 24,37 | 44,6 | 43,35 | 44,93 | 43,36 | 43,7 | 41,21 | 41,91 | 40,8 | 43,44 | 42,59 | 40,92 | 42,46 | 31,66 |
| 197 | 24,38 | 44,61 | 43,37 | 44,93 | 43,25 | 43,68 | 41,24 | 41,92 | 40,77 | 43,54 | 42,71 | 40,92 | 42,46 | 31,66 |
| 198 | 24,36 | 44,61 | 43,38 | 44,92 | 43,42 | 43,69 | 41,28 | 41,94 | 40,79 | 43,53 | 42,56 | 40,91 | 42,46 | 31,66 |
| 199 | 24,36 | 44,64 | 43,39 | 44,93 | 43,42 | 43,69 | 41,27 | 41,93 | 40,85 | 43,56 | 42,61 | 40,95 | 42,46 | 31,67 |
| 200 | 24,37 | 44,7 | 43,4 | 44,92 | 43,37 | 43,69 | 41,28 | 41,99 | 40,83 | 43,54 | 42,69 | 40,91 | 42,45 | 31,66 |
| 201 | 24,37 | 44,65 | 43,49 | 44,92 | 43,43 | 43,69 | 41,29 | 41,96 | 40,81 | 43,57 | 42,69 | 40,96 | 42,45 | 31,66 |
| 202 | 24,36 | 44,7 | 43,44 | 44,92 | 43,46 | 43,69 | 41,3 | 41,98 | 40,84 | 43,57 | 42,68 | 40,98 | 42,45 | 31,66 |
| 203 | 24,38 | 44,64 | 43,46 | 44,92 | 43,3 | 43,69 | 41,29 | 41,98 | 40,82 | 43,58 | 42,78 | 41 | 42,45 | 31,66 |
| Media 25 últimos datos | 24,54 | 44,59 | 43,36 | 44,91 | 43,35 | 43,67 | 41,23 | 41,89 | 40,76 | 43,48 | 42,63 | 40,92 | 42,45 | 31,65 |
| Aumento respecto Tª interior | | 12,93 | 11,71 | 13,26 | 11,69 | 12,01 | 9,57 | 10,24 | 9,11 | 11,83 | 10,98 | 9,27 | 10,79 | |

Tabla 3-23: Ejemplo de los datos obtenidos en un ensayo de aumento de temperatura realizado a dos contactores.

En la Tabla 3-23 se observan los resultados de temperatura tomados durante 203 minutos, o lo que es lo mismo, 2 horas y 23 minutos que es la duración del ensayo del ejemplo. Posteriormente se deben exportar los datos a una hoja Excel y realizar una media de los últimos 25 minutos. A los datos obtenidos se le debe restar al temperatura alcanzada dentro del armario metálico y así ver realmente cual ha sido el aumento de temperatura de los terminales respecto de la temperatura ambiente del interior.

El software también proporciona una gráfica en tiempo real en la que todos estos datos quedan reflejados de forma visual según se obtienen y da un mejor punto de vista del calentamiento que sufre las muestras hasta que la temperatura se estabiliza, esta gráfica no es guardada a diferencia de los datos numéricos, pero gracias a la compatibilidad de los datos con un formato Excel es posible crear una representación gráfica. El ejemplo numérico anterior de la Tabla 3-23 se puede representar visualmente como se aprecia en la Gráfica 3-1.



Gráfica 3-1: Aumento de temperatura en terminales, en el interior del armario metálico y temperatura exterior.

Cuando se llega a la estabilización térmica, se deja proseguir el ensayo unos minutos hasta que se considera que la temperatura ya no varía significativamente.

Tras esto, el ensayo se para y rápidamente se debe medir con un multímetro la resistencia de la bobina en ese momento, con este valor junto con los de la resistencia a temperatura ambiente y de temperaturas inicial se obtendrá la temperatura final a la que ha llegado la bobina del electroimán del contactor.

$$T_2 = (R_2/R_1) \times (T_1 + 234,5) - 234,5 \quad (3)$$

Siendo:

R_2 : Resistencia de la bobina a T^a de ensayo.

R_1 : Resistencia de la bobina a T^a ambiente.

T_1 : Temperatura en el instante de medir R_1 .

T_2 : Temperatura de la bobina justo al final del ensayo.

T_1 y T_2 , se expresan en grados centígrados.

Se deben comprobar 4 muestras de cada modelo ya que realmente, en cada una de ellas se obtienen valores de 6 terminales distintos, es decir, ensayando 4 muestras se consiguen los datos de temperatura de 24 terminales diferentes, datos suficientes para este propósito.

Los resultados de las muestras ensayadas del contactor modelo CL25 quedan reflejados a continuación en la Tabla 3-24 y la Tabla 3-25.

Estas tablas muestran la temperatura absoluta y la temperatura relativa respecto de la interior de la envolvente o armario metálico, de cada uno de los terminales del circuito principal o de potencia de los contactores ensayados.

Resultados modelo CL 25

| Nº de muestra | Modelo | Corriente de ensayo | Sección cableado ensayo | Tª absoluta | | | | | | | |
|---------------|--------|---------------------|-------------------------|-------------|--------|--------|--------|--------|--------|------------|------------|
| | | | | Tª 1L1 | Tª 2T1 | Tª 3L2 | Tª 4T2 | Tª 5L3 | Tª 6T3 | Tª Externa | Tª Interna |
| 1 | CL 25 | 25 A | 6 mm ² | 54,82 | 51,13 | 54,25 | 51,98 | 54,49 | 49,92 | 21,82 | 33,00 |
| 2 | CL 25 | 25 A | 6 mm ² | 55,26 | 52,11 | 60,74 | 55,19 | 53,44 | 51,48 | 21,82 | 33,00 |
| 3 | CL 25 | 25 A | 6 mm ² | 49,42 | 47,23 | 51,59 | 51,65 | 47,36 | 46,76 | 23,35 | 31,79 |
| 4 | CL 25 | 25 A | 6 mm ² | 52,05 | 52,66 | 60,28 | 61,01 | 55,38 | 51,49 | 23,35 | 31,79 |

Tabla 3-24: Resultados del CL25 de Tª absoluta en el ensayo de aumento de temperatura.

| Nº de muestra | Modelo | Corriente de ensayo | Sección cableado ensayo | Tª Externa | Tª Interna | Tª relativa sobre Tª interna | | | | | |
|---------------|--------|---------------------|-------------------------|------------|------------|------------------------------|--------|--------|--------|--------|--------|
| | | | | | | Tª 1L1 | Tª 2T1 | Tª 3L2 | Tª 4T2 | Tª 5L3 | Tª 6T3 |
| 1 | CL 25 | 25 A | 6 mm ² | 21,82 | 33,00 | 21,82 | 18,14 | 21,25 | 18,98 | 21,49 | 16,92 |
| 2 | CL 25 | 25 A | 6 mm ² | 21,82 | 33,00 | 22,26 | 19,12 | 27,75 | 22,19 | 20,45 | 18,48 |
| 3 | CL 25 | 25 A | 6 mm ² | 23,35 | 31,79 | 17,63 | 15,44 | 19,79 | 19,86 | 15,57 | 14,96 |
| 4 | CL 25 | 25 A | 6 mm ² | 23,35 | 31,79 | 20,25 | 20,87 | 28,49 | 29,21 | 23,59 | 19,70 |

Tabla 3-25: Resultados del CL 25 de Tª relativa respecto de la Tª interior del armario en el ensayo de aumento de temperatura.

Los resultados de las muestras ensayadas del contactor modelo CL01 quedan reflejados a continuación en la Tabla 3-26 y la Tabla 3-27.

Estas tablas como anteriormente se ha dicho muestran la temperatura absoluta y la temperatura relativa respecto de la interior de la envolvente o armario metálico, de cada uno de los terminales del circuito principal o de potencia de los contactores ensayados.

Resultados modelo CL 01

| Nº de muestra | Modelo | Corriente de ensayo | Sección cableado ensayo | Tª absoluta | | | | | | | |
|---------------|--------|---------------------|-------------------------|-------------|--------|--------|--------|--------|--------|------------|------------|
| | | | | Tª 1L1 | Tª 2T1 | Tª 3L2 | Tª 4T2 | Tª 5L3 | Tª 6T3 | Tª Externa | Tª Interna |
| 13 | CL 01 | 12 A | 1,5 mm ² | 44,59 | 43,36 | 44,91 | 43,35 | 43,67 | 41,23 | 24,54 | 31,65 |
| 14 | CL 01 | 12 A | 1,5 mm ² | 41,89 | 40,76 | 43,48 | 42,63 | 40,92 | 42,45 | 24,54 | 31,65 |
| 15 | CL 01 | 12 A | 1,5 mm ² | 43,51 | 42,23 | 45,07 | 43,51 | 44,98 | 43,82 | 24,46 | 33,14 |
| 16 | CL 01 | 12 A | 1,5 mm ² | 43,86 | 42,24 | 45,72 | 44,03 | 44,92 | 44,98 | 24,46 | 33,14 |

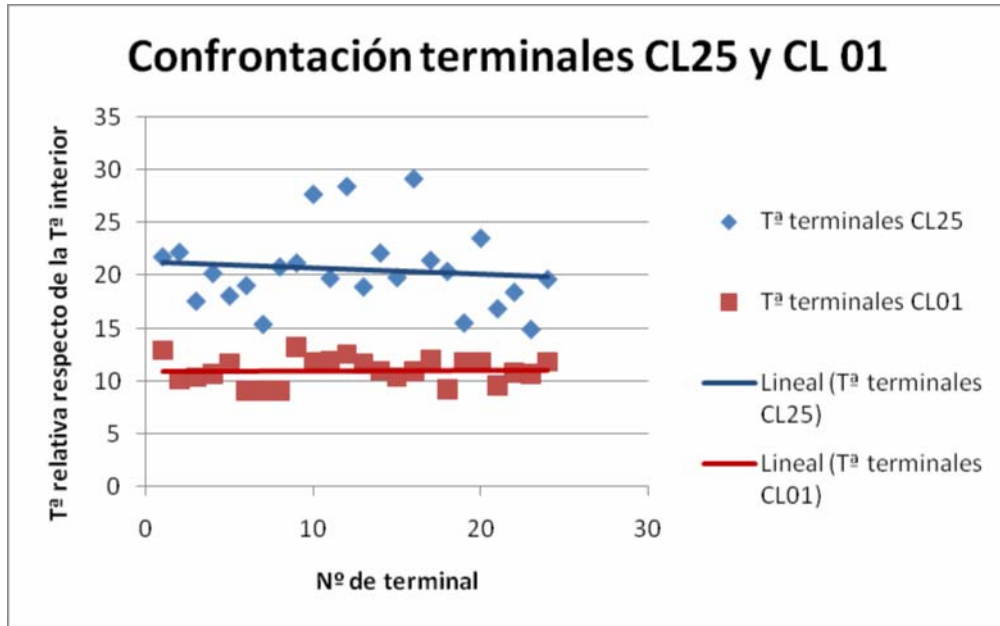
Tabla 3-26: Resultados de Tª absoluta en el ensayo de aumento de temperatura del contactor CL01

| Nº de muestra | Modelo | Corriente de ensayo | Sección cableado ensayo | Tª Externa | Tª Interna | Tª relativa sobre Tª interna | | | | | |
|---------------|--------|---------------------|-------------------------|------------|------------|------------------------------|--------|--------|--------|--------|--------|
| | | | | | | Tª 1L1 | Tª 2T1 | Tª 3L2 | Tª 4T2 | Tª 5L3 | Tª 6T3 |
| 13 | CL 01 | 12 A | 1,5 mm ² | 24,54 | 31,65 | 12,93 | 11,71 | 13,26 | 11,69 | 12,01 | 9,57 |
| 14 | CL 01 | 12 A | 1,5 mm ² | 24,54 | 31,65 | 10,24 | 9,11 | 11,83 | 10,98 | 9,27 | 10,79 |
| 15 | CL 01 | 12 A | 1,5 mm ² | 24,46 | 33,14 | 10,37 | 9,09 | 11,94 | 10,37 | 11,85 | 10,68 |
| 16 | CL 01 | 12 A | 1,5 mm ² | 24,46 | 33,14 | 10,72 | 9,10 | 12,59 | 10,90 | 11,79 | 11,85 |

Tabla 3-27: Resultados del CL01 de Tª relativa respecto de la Tª interior del armario en el ensayo de aumento de temperatura.

Para un análisis más sencillo y clarificador se comparan estos datos en la Gráfica 3-2, donde se pueden obtener varias conclusiones:

- Todos los valores están dentro de lo marcado por la norma.
- El modelo CL01 se comporta mejor ante este ensayo de temperatura, es decir, sus terminales están mejor dimensionados en proporción a la corriente que circula por ellos que los del modelo CL25.
- La fabricación de los terminales del CL01 es más homogénea que los del CL25, ya que se observa perfectamente en la Gráfica 3-2 una menor dispersión en los valores de temperatura ante el paso de una corriente.



Gráfica 3-2: Datos de temperatura alcanzada en los dos modelos de contactor ensayados.

Estos datos dan un resultado positivo hasta el momento, ambos modelos de contactor cumplen los requisitos exigidos en la normativa, la temperatura absoluta alcanzada es menor a 110 °C y el aumento de temperatura relativa de los terminales es menor a 40 °C, es decir, se puede declarar un buen funcionamiento para una temperatura máxima del ambiente de 70 °C como en el ensayo anterior de límites de operación. En caso de que el calentamiento relativo de los terminales se encuentre entre 40 °C y 70 °C el resultado también sería positivo, la diferencia es que se debe declarar en este caso una temperatura interna máxima del ambiente de 40°C.

Aumento de temperatura de la bobina.

Como se ha explicado anteriormente el método utilizado para obtener la temperatura de la bobina es hacer una aproximación muy fiable con la fórmula (3).

$$T_2 = (R_2/R_1) \times (T_1 + 234,5) - 234,5 \quad (3)$$

Siendo:

R_2 : Resistencia de la bobina a T^a de ensayo.

R_1 : Resistencia de la bobina a T^a ambiente.

T_1 : Temperatura en el instante de medir R_1 .

T_2 : Temperatura de la bobina justo al final del ensayo.

T_1 y T_2 , se expresan en grados centígrados.

Por ello inmediatamente después de la finalización del ensayo se recoge la medida de resistencia de la bobina del contactor.

Estos datos de resistencia en caliente R_2 junto con el resultado obtenido de Temperatura al aplicar la fórmula (3) se muestran en la Tabla 3-28 y la Tabla 3-29 para los modelos CL25 y CL01 respectivamente.

| Nº de muestra | Modelo | R a T ^a ambiente = 23° C | R a T ^a de ensayo | T _{interior} | T ₂ | Aumento de T ^a respecto T ^a interior |
|---------------|--------|-------------------------------------|------------------------------|-----------------------|----------------|--|
| 1 | CL 25 | 1815,6 Ω | 2189,5 | 33 | 76,03 | 43,03 |
| 2 | CL 25 | 1807,2 Ω | 2183,6 | 33 | 76,63 | 43,63 |
| 3 | CL 25 | 1814,7 Ω | 2193,5 | 31,79 | 76,75 | 44,96 |
| 4 | CL 25 | 1808,6 Ω | 2185,1 | 31,79 | 76,60 | 44,81 |

Tabla 3-28: Temperatura absoluta y relativa alcanzada por la bobina del contactor CL25

| Nº de muestra | Modelo | R a T ^a ambiente = 23° C | R a T ^a de ensayo | T _{interior} | T ₂ | Aumento de T ^a respecto T ^a interior |
|---------------|--------|-------------------------------------|------------------------------|-----------------------|----------------|--|
| 13 | CL 01 | 1831,4 Ω | 2203,8 | 31,65 | 75,36 | 43,71 |
| 14 | CL 01 | 1833,2 Ω | 2210,6 | 31,65 | 76,01 | 44,36 |
| 15 | CL 01 | 1838,7 Ω | 2214,1 | 33,14 | 75,57 | 42,43 |
| 16 | CL 01 | 1831,3 Ω | 2209,6 | 33,14 | 76,19 | 43,05 |

Tabla 3-29: Temperatura absoluta y relativa alcanzada por la bobina del contactor CL01

Como se puede ver las bobinas se calientan de forma similar ya que en ambos modelos se usa la misma.

Todos los valores obtenidos entran dentro de los límites en normativa, en ambos casos la temperatura relativa de los terminales no supera los 40°C pudiendo declarar una temperatura máxima ambiente de 70 °C y la temperatura de las bobinas no supera en ninguno de los casos los 90°C, gracias a esto se puede proseguir con los ensayos.

3.3.3. ENSAYO DE PROPIEDADES DIELECTRICAS.

3.3.3.1. NORMATIVA

De la norma IEC. 60077-2 [2] se extrae:

9.3.3.3 propiedades dieléctricas.

La prueba se llevará a cabo de acuerdo con 9.3.3.1 y 9.3.3.2 de la norma IEC 60077-1 [1].

De la recomendación anterior se llega a los apartados de IEC. 60077-1 [1]:

9.3.3.1 Condiciones generales.

El equipo a ensayar se montará sobre una placa de metal y todas las partes expuestas conductoras deberán ser conectadas a esta misma placa.

Los actuadores o accionamientos manuales que estén fabricados con material aislante, así como las partes externas no metálicas que pueden ser tocados durante la operación normal, quedarán cubiertas por una lámina de metal unida a la estructura de la placa de montaje. La lámina se aplicará a todas las superficies donde se pueda acceder con el dedo de prueba.

Sin embargo, no es necesario cubrir esas partes por una lámina de metal si están aisladas de la tensión por conductores conectados a la estructura del vehículo en condiciones normales de servicio, si son dispositivos de doble aislamiento o si no puede causar riesgos eléctricos superior a 120 V D.C. o 50 V A.C.

Durante el ensayo, puede ser necesario desconectar algunas partes del equipo de la tensión eléctrica. Esto será acordado entre el usuario y el fabricante.

9.3.3.2 Tipo de pruebas.

9.3.3.2.1 Verificación de la limpieza y aislamiento sólido.

Esta prueba ha de realizarse según los métodos mencionados en la norma EN 50124-1 [6] aunque se explican a continuación.

9.3.3.3 Pruebas de rutina.

9.3.3.3.1 Condiciones generales.

El ensayo de tensión será realizado a una frecuencia de 50 Hz con una onda sinusoidal.

El método de prueba y los valores de la tensión de ensayo se definen a continuación. La tensión de ensayo se aplica progresivamente en 10 s, mantiene en el valor prescrito durante $60\text{ s} \pm 5\text{ s}$, y luego disminuye bruscamente a cero.

NOTA 1 - Para los productos que incluyen condensadores, las pruebas deben hacerse con tensión permanente.

NOTA 2 - En todas las fórmulas de prueba de tensión, **U_i representa la tensión nominal** de aislamiento de los aparatos sometidos a la prueba.

Estas pruebas también pueden ser necesarias después de algunos tipos de pruebas para comprobar que un equipo no tiene daños después de dicha prueba.

9.3.3.3.2 Prueba de tensión.

Las pruebas sobre las piezas de los equipos se llevarán a cabo de conformidad con los siguientes requisitos:

- La Tabla 3-30 se tendrá en cuenta para equipos con tensiones nominales de aislamiento A.C. y D.C. de no más de 10000 V.

Nota- Las partes con el aislamiento envejecido, reparadas o remodeladas pueden ser ensayadas dieléctricamente a 0,8 veces los valores de la Tabla 3-30.

| Tipo de equipo | Tensión soportada U_{S0} para una tensión de aislamiento nominal U_i V | | | | | |
|--|--|------------|--------------------------------------|------------------|---------------------------------|----------------------------------|
| | Hasta 36 | De 36 a 60 | De 60 a 300 | De 300 a 660 | De 600 a 1200 | De 1200 a 10000 |
| Para todos los equipos ensayados individualmente, la prueba dieléctrica se aplicará entre cada circuito de un determinado voltaje y los demás y tierra. | 750 | 1000 | 1500 | 2500 | $2U_i+1500$ | $2U_i+2000$ |
| Para todos los equipos destinados a abrir el circuito y ensayados individualmente, la prueba dieléctrica se aplicará entre las entradas y salidas del aparato con los contactos abiertos. Para ensayar los equipos conectados en paralelo con una resistencia, la tensión de prueba se limitará a 0,75 veces el valor mencionado, con la resistencia desconectada. | 750 | 1000 | 1500 | $1,6U_i+1500$ | | |
| Para todos los equipos conectados eléctricamente a circuitos que no están conectados al circuito de alimentación de la prueba dieléctrica, se aplicará entre estas partes y tierra. | 750 | 1000 | $2U_i+1000$ Con un mínimo de 1500 | | | |
| Para todos los equipos con doble aislamiento, el ensayo dieléctrico debe ser aplicado. -Entre el aislamiento del chasis y tierra -Entre el circuito y el marco aislado de tierra. | | | 1500 1500 | 2500 1500 | $2U_i+1500$ $1,6U_i+500$ | $2U_i+2000$ $1,6U_i+1000$ |
| Nota- para equipos electrónicos con una tensión U_i menor de 36V el ensayo se reducirá a 500V | | | | | | |

Tabla 3-30: Valores de tensión a aplicar durante el ensayo de propiedades dieléctricas.

3.3.3.2. INTERPRETACIÓN DE LA NORMATIVA ANTERIOR.

Este ensayo comprueba que existe un buen aislamiento eléctrico entre las distintas partes de un contactor, tanto lo que se refiere a distancias de aislamiento como a materiales utilizados para tal fin.

Para tal comprobación se deben hacer una serie de ensayos dieléctricos y comprobar que no existe ningún tipo de corriente de fuga entre sus distintos elementos, ya que si fuera así, este motivo causaría daños al aparato o incluso a la persona que pueda manipularlo en funcionamiento.

De la normativa anterior se deduce que las muestras deben ser colocadas durante el ensayo sobre algún material metálico, en este caso un carril din montado sobre un chasis de madera es suficiente.

Las partes externas no metálicas que pueden ser accesibles durante el funcionamiento, en este caso la carcasa del contactor, debe quedar cubierta por una lámina de metal y ésta a su vez, debe quedar unida eléctricamente al carril din.

Si alguna de las partes internas es accesible mediante un dedo de prueba como el que se muestra en la Figura 3-6 también debe ser tenida en cuenta en este punto del ensayo.



Figura 3-6: Dedo de prueba

En el caso de que la carcasa del contactor estuviera unida eléctricamente a la estructura del tren, o que el riesgo eléctrico fuera menor a 120 V D.C. o 50 V A.C. no sería necesario recubrir estas zonas con una lámina metálica para este punto del ensayo. Como no se dan ninguna de las dos opciones será necesario el recubrimiento metálico.

Si en algún punto es necesario comprobar el aislamiento de la bobina con respecto a algún otro elemento del contactor esta debe ser desconectada de cualquier fuente externa de tensión.

El ensayo debe realizarse con tensión sinusoidal a 50 Hz y programarse una rampa de subida desde 0 V hasta la tensión de ensayo de 10 segundos, esta tensión debe ser aplicada en cada punto durante 60 segundos y cumplido este tiempo se produce una brusca bajada a 0 V. Para cumplir estos requisitos se dispone de un equipo en el laboratorio fabricado para tal fin.

La tensión de aislamiento nominal U_i se puede consultar en el catálogo del fabricante de los contactores o más fácil aún si se mira en la pegatina de características adosada a la carcasa de los mismos.

Como se puede observar en ambos casos en la Figura 3-7 la tensión de aislamiento para los dos contactores es $U_i=1000$ V.



Figura 3-7: Pegatina de características adosada a la carcasa del contactor. (a) CL25, (b) CL01.

Atendiendo a la Tabla 3-30 con una tensión de aislamiento, $U_i = 1000 \text{ V}$ se debe seleccionar los datos de tensión de ensayo, U_{S0} , de la columna que afecta a tensiones de aislamiento de 600 V hasta 1200 V, extrayendo los datos se tiene que:

- Para todos los equipos ensayados individualmente, el ensayo dieléctrico se realiza aplicando la tensión U_{S0} entre cada circuito de un determinado voltaje y los demás y tierra.

$$U_{S0} = 2U_i + 1500 = 3500 \text{ V.} \quad (4)$$

- Para todos los equipos destinados a abrir un circuito y ensayados individualmente, la prueba dieléctrica se aplicará entre las entradas y salidas del aparato con los contactos abiertos.

$$U_{S0} = 1,6xU_i + 1500 = 3100 \text{ V.} \quad (5)$$

La tensión resultante de la fórmula (4) se aplica con el contactor cerrado, es decir, alimentando su bobina a la tensión nominal para que cada polo tenga su entrada unida físicamente con su salida, esto comprendería un circuito. Se comprueba con esta primera parte del ensayo que cada polo del contactor está suficientemente aislado eléctricamente del resto de polos y tierra, gracias a la distancia que existe entre ellos y a la rigidez dieléctrica de los materiales aislantes que los separan.

La tensión resultante de la fórmula (5) se aplica con el contactor abierto, es decir, con su bobina desconectada de cualquier fuente de alimentación. De esta manera cada polo tiene su entrada separada físicamente de su salida. Se comprueba así que cada polo tiene una distancia de separación entre los contactos fijos y móviles suficiente como para que no se produzca un arco y por tanto un fallo en los circuitos que estén gobernados por el contactor ensayado.

Se le llama tierra, a las partes de material aislante que se recubren con una lámina de material conductor y conectadas estas a su vez con el carril din del ensayo.

Estudiando todos los casos posibles a ensayar se obtiene como resultado que se debe comprobar el aislamiento en los siguientes 8 puntos de comprobación posible.

Con el contactor cerrado se aplica la tensión de la fórmula (4):

1. Entre todos los terminales conectados juntos incluyendo el circuito auxiliar, en caso de tenerlo y tierra.
2. Entre la fase R y todas las demás fases conectadas a tierra.
3. Entre la fase S y todas las demás fases conectadas a tierra.
4. Entre la fase T y todas las demás fases conectadas a tierra.
5. Entre el circuito auxiliar (si lo posee) y todas las fases conectadas a tierra.
6. Entre el terminal de entrada del circuito auxiliar (solo si es NC) y su terminal de salida y tierra.

Con el contactor abierto se aplica la tensión de la fórmula (5):

7. Entre todos los terminales de entrada del circuito principal y circuito auxiliar (solo si es NO) unidos y todos los terminales de salida unidos y tierra.
8. Entre los terminales de alimentación de la bobina y todos los terminales conectados a tierra.

Si se da un fallo en el punto 5 se debe comprobar con cuál de las tres fases se produce la corriente de fuga, aunque lo más lógico es que sea con la más próxima a este circuito auxiliar.

Si se da un fallo en el punto 7 se debe ensayar cada polo por separado para así saber cuál es el que no tiene un buen aislamiento entre su terminal de entrada y de salida.

Si se da un fallo en el punto 8 se debe ensayar cada polo por separado para así saber desde se produce una corriente de fugas hasta la bobina.

3.3.3.3. ENSAYOS REALIZADOS Y RESULTADOS OBTENIDOS.

Para la realización de este ensayo de rigidez dieléctrica se necesita el siguiente material de laboratorio:

1 multímetro.

Varias tomas de corriente alterna y 220 V.

Cableado y clemas metálicas necesarias.

Generador de tensión programable con detector de paso de corriente por su circuito de prueba.

1 destornillador.

4 muestras de contactor modelo CL25 (110 V)

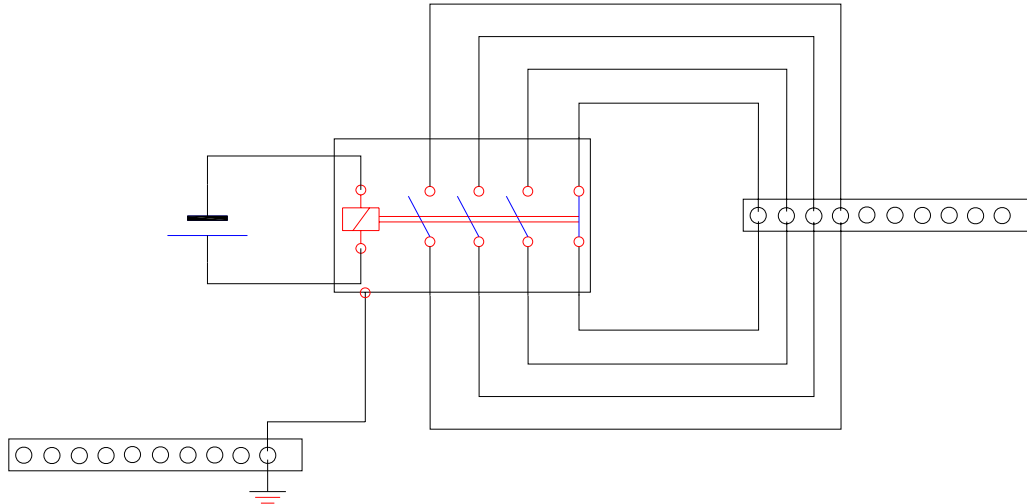
4 muestras de contactor modelo CL01 (110 V)

Los contactores son ensayados de 1 en 1.

Cada punto de comprobación del ensayo de los 8 propuestos anteriormente necesita un cableado distinto tal como se muestran en los siguientes esquemas.

Con el contactor cerrado se aplican 3500V:

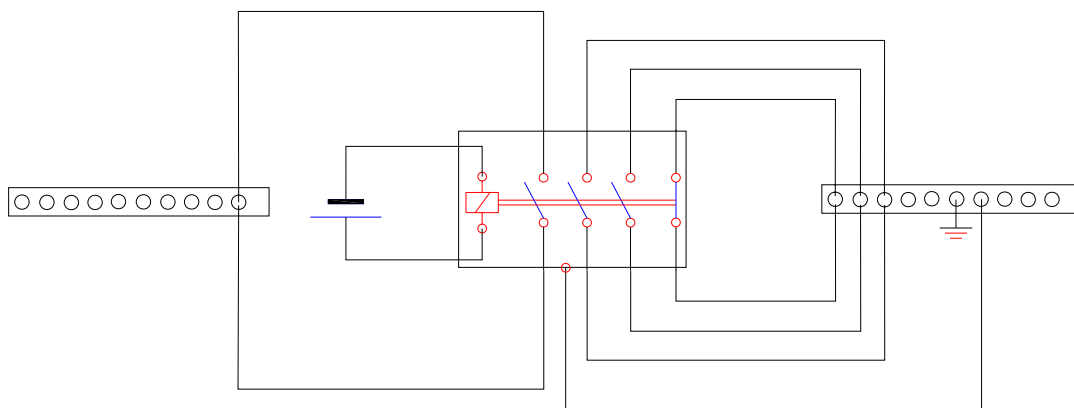
1. Entre todos los terminales conectados juntos incluyendo el circuito auxiliar, en caso de tenerlo y tierra.



Esquema 3-4: Cableado para ensayar las condiciones del punto 1.

Con el contactor cerrado se aplican 3500V:

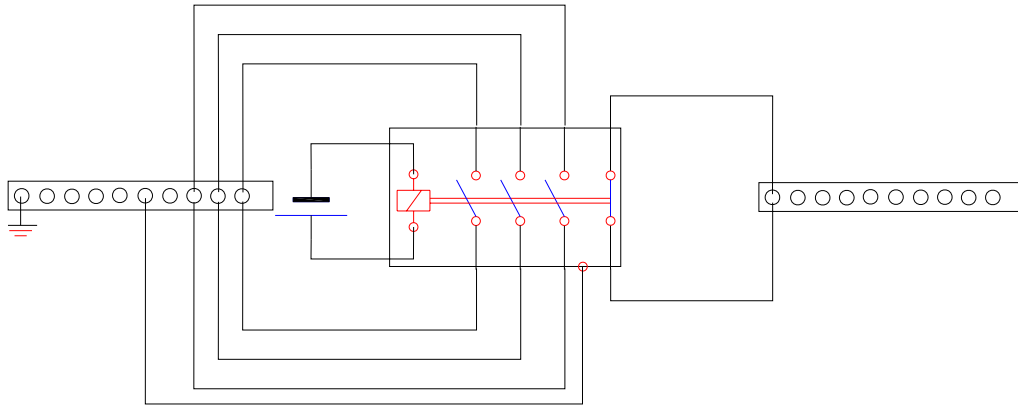
2. Entre la fase R y todas las demás fases conectadas a tierra.
3. Entre la fase S y todas las demás fases conectadas a tierra.
4. Entre la fase T y todas las demás fases conectadas a tierra.



Esquema 3-5: Cableado para ensayar las condiciones de los puntos 2,3 y 4 variando la fase R,S y T respectivamente.

Con el contactor cerrado se aplican 3500V:

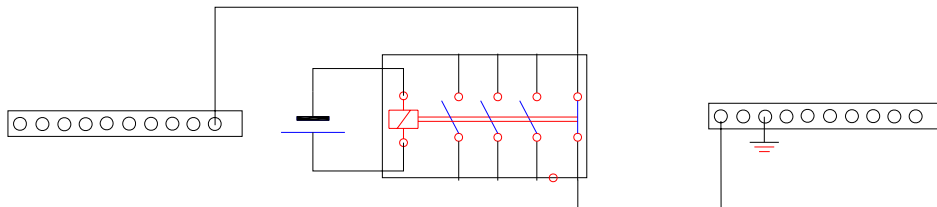
5. Entre el circuito auxiliar (si lo posee) y todas las fases conectadas a tierra.



Esquema 3-6: Cableado para ensayar las condiciones del punto 5.

Con el contactor cerrado se aplican 3500V:

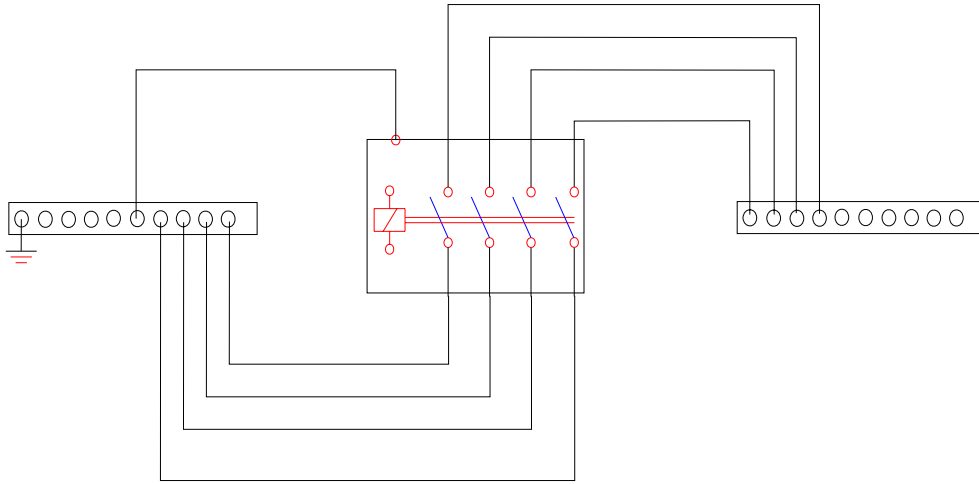
6. Entre el terminal de entrada del circuito auxiliar (solo si es NC) y su terminal de salida y tierra.



Esquema 3-7: Cableado para ensayar las condiciones del punto 6.

Con el contactor abierto se aplican 3100V:

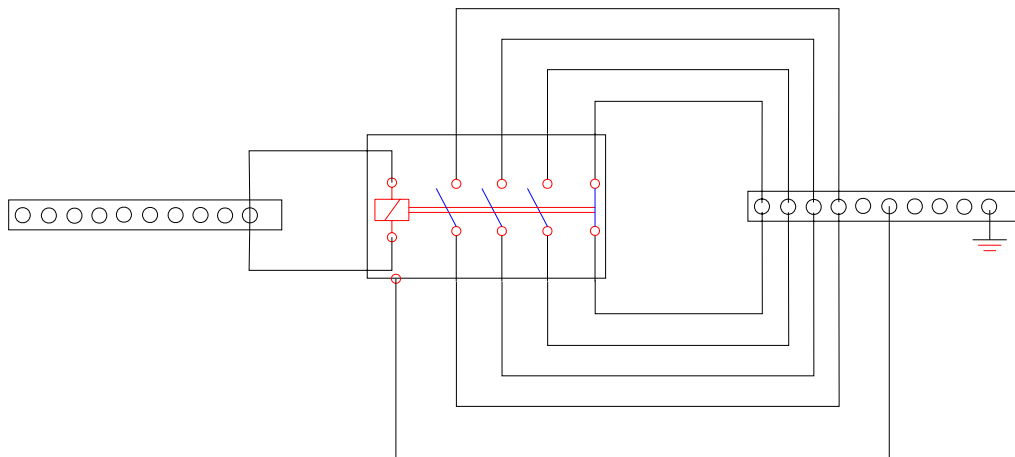
7. Entre todos los terminales de entrada del circuito principal y circuito auxiliar (solo si es NO) unidos y todos los terminales de salida unidos y tierra.



Esquema 3-8: Cableado para ensayar las condiciones del punto 7.

Con el contactor abierto se aplican 3100V:

8. Entre los terminales de alimentación de la bobina y todos los terminales conectados a tierra.



Esquema 3-9: Cableado para ensayar las condiciones del punto 8.

En los anteriores esquemas se representa siempre un contactor trifásico con un polo auxiliar, en caso de ensayar contactores sin ese polo o con el contrario al indicado hay que prescindir de su cableado o incluso del puno de comprobación completo. Además la representación en todos los esquemas se hace con el contactor sin alimentación, en los primeros seis puntos de comprobación el contactor está alimentado y sus contactos cambian de estado, al alimentarlo las 3 fases abiertas pasan a estar cerradas y tener continuidad y el contacto auxiliar se abre si es NC o se cierra si es NO.

El Esquema 3-9: Cableado para ensayar las condiciones del punto 8. queda mejor representado en la Figura 3-8:

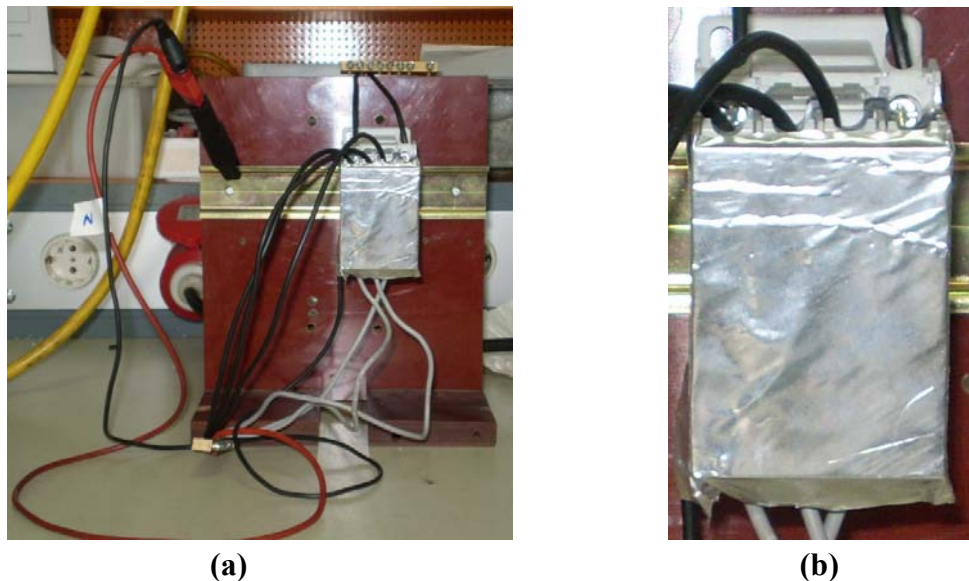


Figura 3-8: (a) Montaje en el laboratorio para hacer la prueba dieléctrica con las condiciones del punto 8. (b) Detalle de carcasa envuelta en papel de plata adhesivo.

En la Figura 3-8 se observa que existen cables de cobre aislados que van desde cada uno de los terminales principales del contactor hasta un bornero completamente metálico y conductor. Junto a todos ellos se conecta la carcasa del contactor totalmente forrada de una lámina de plata y el carril din en el que se monta la muestra a ensayar. En el otro bornero se cablean los dos terminales de la bobina, de esta manera se comprueba que existe un buen aislamiento y no existe corriente de fugas entre la bobina y los terminales del circuito principal.

Para la realización de este ensayo es necesario un equipo específico para tal fin, capaz de cómo marca la normativa, aplicar una rampa de subida de tensión en un tiempo programable, mantener dicha tensión durante un tiempo establecido, detectar una corriente de los mA seleccionados circulando entre sus terminales y en ese caso, parar el ensayo avisando de lo ocurrido, o en caso contrario dar un aviso positivo al finalizar el tiempo establecido para el ensayo.

Estas características son las que posee el equipo de la Figura 3-9.



Figura 3-9: Equipo necesario para la realización del ensayo de propiedades dieléctricas.

Ampliando el panel de control se observan distintas partes para la configuración y puesta en marcha del ensayo tal y como marca la normativa referente a las propiedades dieléctricas.

Este equipo tiene varias medidas de seguridad, una de ellas como se puede apreciar en la Figura 3-10 es el uso de un doble interruptor general para el encendido del equipo, uno de los cuales es accionado mediante una llave de seguridad para evitar el uso por personal inadecuado.

Si los dos interruptores se colocan en posición cerrada se ilumina la señal luminosa verde, esto significa que el equipo está preparado para funcionar pero la salida no está activada, es decir, aun no existe ningún peligro.



Figura 3-10 : Interruptores generales para el encendido del equipo.

Lo más recomendable es accionar estos interruptores generales después de realizar toda la programación del equipo, esto se puede hacer gracias a que el equipo tiene una programación analógica. Esta programación consiste en seleccionar los valores deseados en los 4 cuadrantes que se muestran en la Figura 3-11.



Figura 3-11: Selectores para la programación el equipo.

En el primero de ellos se debe seleccionar la tensión de ensayo dividida entre 10, por ejemplo si en un ensayo necesitamos una tensión de 3500 V se debe seleccionar 350.

El segundo selector es para configurar el tiempo de rampa de subida desde 0 V hasta la tensión de ensayo, la normativa marca en este caso una rampa de 10 s, este es el tiempo que tardará la tensión en pasar de 0 V a 3500 V de una manera lineal.

El tercero consta de dos selectores, cada uno de ellos tiene una numeración entre 0 y 9 y gracias a esto se puede seleccionar un tiempo de ensayo comprendido entre 01 segundos y 99 segundos, en este punto se debe seleccionar 60 ya que la normativa marca que se ensaye cada punto durante un minuto, incluyendo el tiempo de rampa de subida.

El cuarto y último selector sirve para fijar una corriente máxima de fuga, es decir, si se selecciona 10 mA el ensayo será satisfactorio mientras que se produzca una corriente de fuga nula o inferior a este valor durante el tiempo de ensayo. En caso contrario el ensayo se interrumpirá automáticamente.

Por último en la Figura 3-12 aparecen el voltímetro y amperímetro del panel de control del equipo, ambos indican la tensión y corriente respectivamente a lo largo del ensayo, si el valor de corriente que circula entre los electrodos de prueba supera el límite marcado, el ensayo se detendrá automáticamente dejando encendido el piloto rojo que se observa bajo el amperímetro, por el contrario si pasado el tiempo de prueba esto no sucede el piloto verde será el que se ilumine dando como válido el punto ensayado.

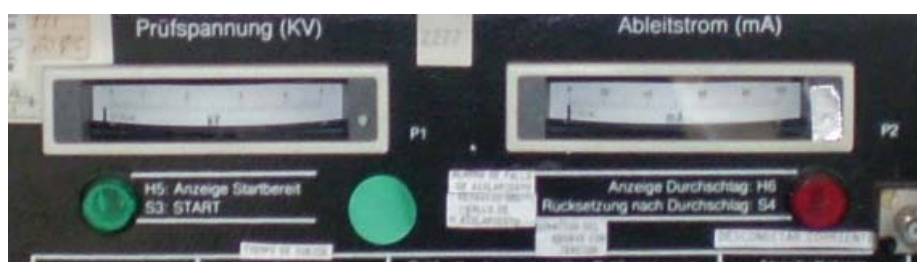


Figura 3-12: Voltímetro, Amperímetro y pilotos del panel de control.

A continuación se puede ver en la Figura 3-13 el montaje completo de uno de los puntos de ensayo, y como se deben colocar los electrodos del equipo en los borneros metálicos para aplicar la tensión en los puntos necesarios de la muestra ensayada.

Los electrodos con forma de pistola tienen otro sistema de seguridad ya que las puntas metálicas de los mismos salen solo si se aprieta el gatillo de las pistolas de plástico.



Figura 3-13: Montaje completo para la realización del ensayo de propiedades dieléctricas.

Por último, una vez cableado como indique el esquema, programado el equipo con los requisitos de la normativa y colocados los electrodos en su sitio, se activa la salida del equipo accionando, con ayuda de un pie, el pulsador que muestra en la Figura 3-14, a partir de este momento el equipo realiza la rampa de subida de tensión y aplica el valor seleccionado durante el tiempo programado.



Figura 3-14: Pedal de accionamiento del equipo para ensayo dieléctrico.

Para resumir se han de seguir las siguientes instrucciones para la realización de cada ensayo:

- Cablear la muestra tal y como marca cada esquema en cada punto de ensayo.
- Seleccionar el valor de tensión de ensayo.
- Seleccionar el valor de tiempo en segundos para la rampa de subida de tensión.
- Seleccionar el valor de tiempo en segundos para la duración total del ensayo.
- Seleccionar el valor de corriente máxima que fije que el ensayo será positivo.
- Encender los dos interruptores generales.
- Aplicar los electrodos en los dos borneros metálicos.
- Accionar el pulsador con ayuda del pie para dar comienzo al ensayo.

La evolución de la tensión queda perfectamente reflejada en la Gráfica 3-3 tal y como se produce durante el ensayo.



Gráfica 3-3: Evolución de la tensión que sufre la muestra en el ensayo de propiedades dieléctricas.

Los casos ensayados son los siguientes:

Con el contactor cerrado se aplican 3500V:

1. Entre todos los terminales conectados juntos incluyendo el circuito auxiliar, en caso de tenerlo y tierra.
2. Entre la fase R y todas las demás fases conectadas a tierra.
3. Entre la fase S y todas las demás fases conectadas a tierra.
4. Entre la fase T y todas las demás fases conectadas a tierra.
5. Entre el circuito auxiliar (si lo posee) y todas las fases conectadas a tierra.
6. Entre el terminal de entrada del circuito auxiliar (solo si es NC) y su terminal de salida y tierra.

Con el contactor abierto se aplican 3100V:

7. Entre todos los terminales de entrada del circuito principal y circuito auxiliar (solo si es NO) unidos y todos los terminales de salida unidos y tierra.
8. Entre los terminales de alimentación de la bobina y todos los terminales conectados a tierra.

Todos estos casos se realizan con un tiempo de rampa, $T_{\text{rampa}}=10$ segundos, un tiempo de ensayo, $T_{\text{ensayo}}=60$ segundos y una corriente de fuga máxima de 10 mA.

| MUESTRA | | RESULTADOS | | | | | | | |
|---|----|------------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
| | | Caso 1 | Caso 2 | Caso 3 | Caso 4 | Caso 5 | Caso 6 | Caso 7 | Caso 8 |
| CL25 | 1 | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ | - | ✓ | ✓ |
| CL25 | 2 | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ | - | ✓ | ✓ |
| CL25 | 3 | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ | - | ✓ | ✓ |
| CL25 | 4 | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ | - | ✓ | ✓ |
| CL01 | 13 | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ |
| CL01 | 14 | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ |
| CL01 | 15 | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ |
| CL01 | 16 | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ |
| Leyenda: ✓ = positivo, X = negativo, - = no ensayado. | | | | | | | | | |

Tabla 3-31: Resultados del ensayo de propiedades dieléctricas de las muestras modelo CL25 y CL01.

A la vista de los resultados positivos del ensayo de propiedades dieléctricas representados en la Tabla 3-31 se prosigue con el último ensayo de la Secuencia I.

3.3.4. ENSAYO DE CAPACIDAD OPERACIONAL.

3.3.4.1. NORMATIVA.

Antes de la realización del ensayo es necesario extraer los artículos de la norma que marcan las pautas y condiciones a cumplir para homologar un aparato eléctrico bajo dicha norma.

De la norma IEC. 60077-2 [2] se extrae el siguiente artículo referente a capacidad operacional:

9.3.3.4 Capacidad operacional.

Teniendo en cuenta la capacidad de operación declarada por el fabricante, el ensayo se llevará a cabo de conformidad con los requisitos de 8.2.8. de IEC. 60077-1 [1].

Para todos los componentes, las operaciones se llevarán a cabo con todos los circuitos eléctricos y neumáticos alimentados a sus valores nominales. Durante cada ciclo de funcionamiento, las muestras se mantendrán en la posición cerrada un tiempo suficiente para asegurar que la corriente está plenamente establecida, pero sin exceder de 2 s. Entre cada secuencia, están permitidas la inspección y las operaciones de mantenimiento de acuerdo con las instrucciones dadas anteriormente por el fabricante.

Durante estas operaciones, la sustitución de piezas, se limitará a los contactos (u otras partes sujetas a arco eléctrico), de los principales circuitos del componente.

Al final de la última secuencia, no se permiten operaciones de mantenimiento antes de las verificaciones necesarias especificadas en 9.3.3.5 y 9.3.3.6.

Tal y como indica el artículo anterior se debe atender al artículo de la norma IEC. 60077-1 [1]:

8.2.8 Capacidad operacional.

Los requisitos específicos y las condiciones del ensayo se indicarán en la correspondiente norma de producto o especificación de prueba de acuerdo entre el fabricante y el usuario, y pueden referirse a:

- La capacidad operacional de funcionamiento sin carga, a fin de demostrar que el equipo cumple con las condiciones operativas.
- La capacidad operacional de funcionamiento con carga, durante el cual el equipo funcionará en el lugar especificado.
- La capacidad operacional de funcionamiento en condiciones de fallo o sobrecarga.
- La durabilidad mecánica y eléctrica.

NOTA - El término "durabilidad" expresa la esperanza de vida de la duración (tiempo o número de ciclos de funcionamiento), que puede ser llevada a cabo por el equipo antes de la reparación o la sustitución de piezas.

La verificación de los resultados operativos se pueden combinar en una o varias secuencias de pruebas si así se especifica en el producto estándar, el rendimiento de capacidad operacional que debe superar un contactor se detalla en la Tabla 3-32.

| N° de secuencias | N° de operaciones por ciclo de secuencia | | N° de operaciones total | |
|------------------|--|-----------|-------------------------|-----------|
| | Sin carga | Con carga | Sin carga | Con carga |
| 10 | 200000 | 800 | 2000000 | 8000 |

Tabla 3-32: Capacidad de operación para un contactor operando en AC-3

El artículo anterior advierte que los requisitos y las condiciones a seguir para el cumplimiento de este punto se indican en la norma específica del producto. En este caso la norma específica para contactores es la IEC-947-4-1 [3] y los artículos que hacen referencia a la durabilidad mecánica y eléctrica son los siguientes:

ANEXO B.

B.1. General.

Este tipo ensayos especiales se hacen bajo el criterio del fabricante.

B.2 durabilidad mecánica.

B.2.1. General.

Por convenio, la durabilidad mecánica de un contactor o un arrancador está definida por el número de ciclos de operación sin carga que es capaz de hacer el aparato antes de que sea necesario reparar o remplazar alguna de sus partes mecánicas. Sin embargo el reemplazamiento de los contactos como se especifica en B.2.2.1 y en B.2.2.3. está permitido.

B.2.2. Verificación de la durabilidad mecánica.

B.2.2.1. Condiciones para ensayar el contactor o arrancador.

El contactor o arrancador debe ser instalado como para realizar un servicio normal, en particular los conductores deben ser conectados de la misma manera que para un uso normal.

Durante el ensayo, no debe existir voltaje ni corriente en el circuito principal o de potencia.

B.2.2.2 Condiciones de operación.

Las bobinas del control electromagnético deben ser alimentadas a su voltaje nominal y si corresponde a su frecuencia nominal.

B.2.2.3 Procedimiento de ensayo.

El ensayo se llevará a cabo con la frecuencia de operación correspondiente para la clase de servicio intermitente que vaya a realizar, sin embargo si el fabricante considera que el contactor o arrancador puede satisfacer condiciones de funcionamiento a más altas frecuencias, el ensayo se puede realizar a estas frecuencias.

Para el caso de contactores electromagnéticos o neumáticos la duración de la alimentación del contactor debe ser la suficiente como para que la corredera realice el recorrido completo y de igual forma la duración de la no alimentación del contactor deber ser la suficiente como para que la corredera quede en su posición original.

Cada vez que las operaciones cumplan la décima parte de las operaciones totales se puede realizar una limpieza o lubricación de aquellas partes que no hagan necesario el desmontaje del contactor. En ningún caso se podrá cambiar ninguna pieza.

B.3. Durabilidad eléctrica.

B.3.1. General.

Con respecto a la resistencia ante el desgaste eléctrico, un contactor o un arrancador, por convenio es caracterizado por el número de ciclos de funcionamiento en carga que es capaz de realizar sin reparación o sustitución de piezas, esto depende también de las categorías de utilización dadas en la Tabla 3-33.

Para categorías de uso AC-3 y AC-4, el circuito de prueba consta de inductancias y resistencias de tal manera que de los valores apropiados de corriente, tensión y factor de potencia establecidos en la Tabla 3-33.

En todos los casos la velocidad de operación debe ser elegida por el fabricante.

| Categoría de utilización | Valor de corriente nominal | Características para el cierre del contactor | | | Características para la apertura del contactor | | |
|--------------------------|----------------------------|--|-----------|-------------|--|-----------|-------------|
| | | I_C/I_N | U_C/U_N | $\cos \Phi$ | I_A/I_N | U_A/U_N | $\cos \Phi$ |
| AC-1 | Todos los valores | 1 | 1 | 0,95 | 1 | 1 | 0,95 |
| AC-2 | Todos los valores | 2,5 | 1 | 0,65 | 2,5 | 1 | 0,65 |
| AC-3 | $I_N \leq 17$ | 6 | 1 | 0,65 | 1 | 0,17 | 0,65 |
| | $I_N > 17$ | 6 | 1 | 0,35 | 1 | 0,17 | 0,35 |
| AC-4 | $I_N \leq 17$ | 6 | 1 | 0,65 | 6 | 1 | 0,65 |
| | $I_N > 17$ | 6 | 1 | 0,35 | 6 | 1 | 0,35 |

I_N = Corriente nominal del contactor
 I_C = Corriente máxima o pico que establece el contactor en su cierre.
 I_A = Corriente que interrumpida por el contactor en el momento de su apertura.
 U_N = Tensión nominal del contactor.
 U_C = Tensión aplicada antes del cierre del contactor.
 U_A = Voltaje de recuperación
 $\cos \Phi$ = Factor de potencia
Tolerancias: corriente= $\pm 5\%$; tensión= $\pm 5\%$; $\cos \Phi$ = $\pm 0,05\%$.

Tabla 3-33: Condiciones para la verificación del ensayo de durabilidad eléctrica.

Volviendo a la norma IEC. 60077-2 [2] en la que se dice expresamente que al final de la última secuencia, no se permiten operaciones de mantenimiento antes de las verificaciones necesarias especificadas en 9.3.3.5 y 9.3.3.6:

9.3.3.5 Verificación de las propiedades dieléctricas.

Después del ensayo descrito en 9.3.3.4 el componente será capaz de soportar los ensayos dieléctricos necesarios como prueba de rutina descritos en 9.3.3.3 de las normas IEC 60077-1 [1], pero con los valores de tensión del ensayo reducidos al 75%.

9.3.3.6 Verificación del aumento de temperatura.

Después de la verificación descrita en 9.3.3.5, se llevará a cabo un ensayo de verificación de aumento de temperatura en el circuito principal y con la corriente definida en las condiciones de 9.3.3.2.

Al comienzo de la prueba, se medirán las caídas de tensión en las fases del circuito principal y deben ser comparadas con las medidas tal como se especifica en 9.3.3.2. Si las diferencias no son significativas el ensayo de verificación del aumento de la temperatura puede ser suspendido, en cuyo caso los valores se registrarán en el informe de ensayo.

Al final de la prueba, los valores del aumento de la temperatura no deberán sobrepasar los valores especificados en 8.2.2 de las normas IEC 60077-1 [1] y de IEC 60077-2 [2], y no superarán en más de 20 °C a los registrados durante la prueba exigida en 9.3.3.2.

3.3.4.2. INTERPRETACIÓN DE LA NORMATIVA ANTERIOR.

Al analizar la normativa anterior se entiende que la capacidad operacional de un contactor debe cumplir ciertos niveles pero al fin y al cabo es declarada por el fabricante.

Es una de las características decisivas a la hora de decantarse por una marca de contactor ya que la capacidad operacional da una idea la calidad de su diseño y de sus materiales.

La norma IEC 60077-2 [2] marca las pautas que debe cumplir un contactor genéricamente respecto a su capacidad operacional, su artículo referente a este capítulo únicamente dice que las operaciones deben llevarse a cabo con los circuitos alimentados a sus valores nominales, aunque como se verá un poco más adelante este requisito varía. La norma [2] exige que el tiempo de duración de cada ciclo sea el suficiente como para que la corriente se establezca completamente, pero sin exceder 2 segundos de duración.

Además esta norma permite que el conjunto total de operaciones sea dividido en secuencias, y al finalizar cada una de ellas es posible realizar un pequeño mantenimiento, que consiste en la limpieza de las piezas accesibles sin necesidad de desmontar el aparato. Al finalizar todas las secuencias no es posible realizar este mantenimiento sin antes verificar los puntos 9.3.3.5 y 9.3.3.6 de la norma IEC. 60077-2 [2]. Estos puntos corresponden con los ensayos realizados anteriormente de propiedades dieléctricas y aumento de temperatura, respectivamente.

Por último la norma [2] indica que el ensayo debe llevarse a cabo con los requisitos del punto o artículo 8.2.8. de la norma IEC. 60077-1 [1].

El punto 8.2.8. de la norma [1] da los valores de durabilidad que un contactor de estas características, operando en modo AC-3, debe superar. La durabilidad se divide en operaciones con carga y sin carga, y a su vez se proponen 10 secuencias de 200 mil operaciones sin carga y 800 con carga, haciendo un total de 2 millones de operaciones del contactor sin carga y 8 mil operaciones del contactor con carga. Además este punto advierte que las condiciones específicas para realizar el ensayo referente a la capacidad operacional se indican en la norma correspondiente al producto a ensayar. En el caso de este proyecto de contactores la norma del producto es la IEC-947-4-1 [3]: Contactores y arrancadores de motores.

Al consultar la norma IEC-947-4-1 [3] en su ANEXO B se habla de los ensayos especiales de durabilidad mecánica y durabilidad eléctrica.

En primer lugar el punto B.2 marca las pautas que se deben seguir para la verificación de la durabilidad mecánica, contrastando este punto con los anteriores se llega a la conclusión de que el contactor debe realizar 10 secuencias de 200 mil operaciones cada

una. Estas operaciones deben realizarse en una ubicación similar a la que tendría el contactor durante su funcionamiento normal, y entre una y otra es posible únicamente la reparación o recambio de los contactos, en este caso los datos deben quedar reflejados en el informe de ensayo.

Para la realización del ensayo de durabilidad mecánica la bobina del contactor debe ser alimentada en cada operación a su tensión nominal. Durante el ensayo el circuito principal o de potencia debe estar libre de cualquier tensión o corriente circulando por el mismo.

La frecuencia a la que se realiza el ensayo debe ser similar a la que tenga el servicio que vaya a realizar aunque si el fabricante lo considera oportuno se puede ensayar a frecuencias más altas, ya que subir la frecuencia de ensayo empeora los resultados y si son buenos a cierta frecuencia lo serán también a otras más bajas. El único límite máximo de frecuencia que se fija es aquel que hace que la corredera del contactor realice el recorrido completo, tanto al abrir el contactor como al cerrarlo.

En segundo lugar el punto B.3 marca las pautas que se deben seguir para la verificación del ensayo de durabilidad eléctrica, este suele ser uno de los datos que caracterizan al contactor más importante ya que son las maniobras que puede realizar sin necesidad de cambiar ni reparar ninguna pieza del mismo.

Para el caso que abarca el presente proyecto con el uso de estos modelos de contactor en AC-3 se debe montar el circuito con la suficiente inductancia y resistencia como para conseguir los valores necesarios de ensayo que muestra la Tabla 3-33.

A la vista de la Tabla 3-33 el ensayo para contactores que operan en AC-3 tiene dos variantes dependiendo de la corriente nominal, si la corriente supera los 17 A debe cumplir unos requisitos y si es igual o menor a dicha corriente se deben cumplir otros. Por este motivo se representa en la Tabla 3-34 las condiciones que debe cumplir cada uno de los dos modelos de contactor a ensayar.

| Modelo de contactor | Categoría de utilización | Valor de I_N | Características para el cierre | | | Características para la apertura | |
|---------------------|--------------------------|----------------|--------------------------------|-----------|-------------|----------------------------------|-------------|
| | | | I_C/I_N | U_C/U_N | $\cos \Phi$ | I_A/I_N | $\cos \Phi$ |
| CL25 | AC-3 | 25 | 6 | 1 | 0,35 | 1 | 0,35 |
| CL01 | AC-3 | 12 | 6 | 1 | 0,65 | 1 | 0,65 |

I_N = Corriente nominal del contactor
 I_C = Corriente máxima o pico que establece el contactor en su cierre.
 I_A = Corriente que interrumpida por el contactor en el momento de su apertura.
 U_N = Tensión nominal del contactor.
 U_C = Tensión aplicada antes del cierre del contactor.
 $\cos \Phi$ = Factor de potencia
Tolerancias: corriente= $\pm 5\%$; tensión= $\pm 5\%$; $\cos \Phi = \pm 0,05\%$.

Tabla 3-34: Condiciones a cumplir en el ensayo de durabilidad eléctrica para los modelos CL25 y CL 01.

Contrastando este punto con los anteriores se llega a la conclusión de que a cada contactor se le debe someter a 10 secuencias de 800 ciclos cada uno con las condiciones anteriormente expuestas en la Tabla 3-34.

Finalizadas y verificadas positivamente todas las secuencias completas tanto de operaciones mecánicas como eléctricas se deben verificar los puntos 9.3.3.5 y 9.3.3.6. de la norma IEC. 60077-2 [2]. Estos punto hacen referencia a los ensayos de propiedades dieléctricas y aumento de temperatura. Ya que estos ensayos han ido explicados y realizados anteriormente no se vuelve a explicar su procedimiento. La ejecución es exactamente la misma y las únicas condiciones que varían son las siguientes:

- En el caso de la verificación de las propiedades dieléctricas se comprueban los mismos puntos pero con una tensión de ensayo reducida al 75% de los valores calculados para la verificación del punto 9.3.3.3. de la norma [1]. Este ensayo verifica que la muestra no ha sufrido daños a causa de las operaciones eléctricas o mecánicas y que las propiedades dieléctricas siguen siendo buenas.
- En el caso de la verificación del aumento de la temperatura se tomó la decisión de no usar el método de caída de tensión, por tanto directamente se repite el ensayo con las mismas condiciones y será válido siempre y cuando los resultados obtenidos estén dentro de los límites especificados en el punto 8.2.2. de la norma [2] y no superen en más de 20 °C los registrados durante la primera prueba exigida en el punto 9.3.3.2. de la norma [1]. Este ensayo verifica que las operaciones eléctricas y mecánicas no han causado grandes daños en los contactos o en sus pastillas, debido al desgaste por golpes y arcos eléctricos producidos en estos dos ensayos.

3.3.4.3. ENSAYOS REALIZADOS Y RESULTADOS OBTENIDOS.

Tras la comprensión de la normativa se procede a realizar los ensayos pertinentes, como se ha visto en el apartado anterior la comprobación de la durabilidad de un contactor no solo conlleva realizar maniobras mecánicas (sin carga en el circuito principal o de potencia) y maniobras eléctricas (con carga de un determinado factor de potencia en el circuito principal), sino que también hay que verificar que el contactor, después de realizar el número de maniobras marcado, es capaz de superar de nuevo el ensayo de propiedades dieléctricas al 75% y el de aumento de temperatura sin llegar a sobrepasar en 20 °C las temperaturas recogidas anteriormente en ese mismo ensayo.

Como se puede ver esta última parte de la secuencia I engloba nuevos ensayos y dos anteriormente realizados.

El material necesario para la realización de este ensayo de durabilidad es el siguiente:

Armario metálico con un PLC y su software de programación.

Celda de durabilidad eléctrica del laboratorio.

Fuente variable de tensión.

1 Multímetro.

Varios interruptores de apertura en carga

Varias tomas de corriente.

Cableado y clemas necesarias.

Varias herramientas.

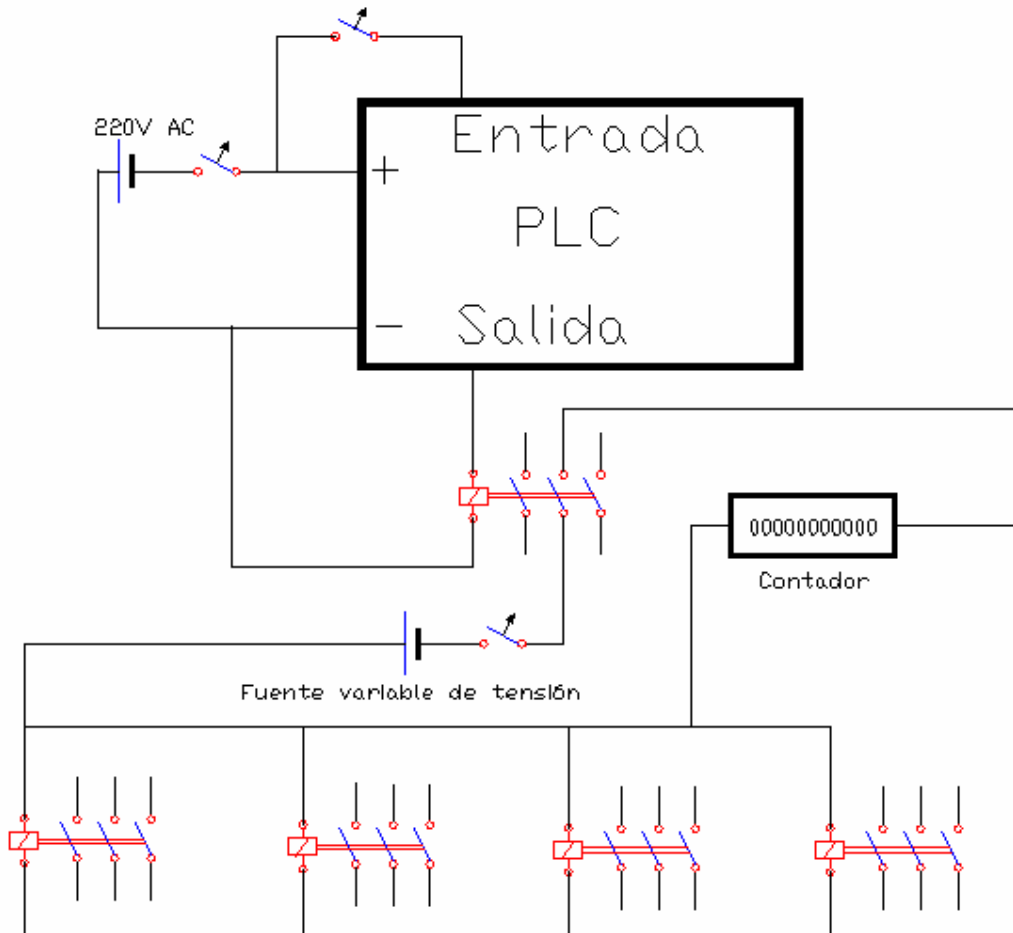
4 muestras del contactor modelo CL25 (110V)

4 muestras del contactor modelo CL01 (110V)

Todo el material anteriormente citado para la prueba de Aumento de temperatura y para la prueba de rigidez dieléctrica.

Los contactores serán ensayados de 4 en 4 según modelo para el ensayo de durabilidad mecánica, de 2 en 2 para el ensayo de durabilidad eléctrica y tal como se hizo anteriormente para las pruebas de aumento de temperatura y de rigidez dieléctrica.

En primer lugar para realizar el ensayo de durabilidad eléctrica es necesario diseñar un circuito que sea capaz de abrir y cerrar los contactores con una frecuencia lo suficientemente alta como para que se realicen los dos millones de operaciones exigidos en normativa en un periodo de tiempo no muy amplio, el límite máximo de esta frecuencia está en conseguir un cierre y una apertura completa no que la corredera del contactor se quede a medio camino en ambos sentidos produciendo únicamente una vibración. El circuito diseñado para tal fin es el indicado a continuación en el Esquema 3-10.



Esquema 3-10: Circuito necesario para el ensayo de durabilidad mecánica.

La pieza principal de este circuito es el PLC, se opta por usar este aparato antes que un relé con tiempos programables porque es mucho más robusto y el relé podría fallar antes de cumplir los 2 millones de operaciones.

El funcionamiento es sencillo, en el circuito se pueden distinguir dos partes y además una de ellas controla a la otra. Se opta por esta solución ya que el PLC es un aparato de control por el que solo deben circular corrientes pequeñas y de este modo la salida del mismo solo alimenta a la bobina del minicontactor que es de muy baja potencia. Uno de los polos normalmente abierto del minicontactor es el que realmente establece o corta la corriente que circula a través de las bobinas de las 4 muestras a ensayar.

En el circuito existen dos fuentes de tensión, la primera es fija de 230V y AC (se puede usar cualquier toma convencional existente en el armario eléctrico) utilizada para alimentar al PLC y a la entrada del mismo a través de un interruptor general, la segunda debe ser variable de corriente continua y se tiene que ajustar a 110V de CC para poder alimentar a las bobinas de los contactores a su tensión nominal, también está provista de un interruptor.

Cuando se activa la salida del PLC alimenta la bobina del minicontactor con los 230V AC de la entrada, es decir, que cada vez que la salida se active, el minicontactor se cierra, y este cierra a su vez el circuito que alimenta a las bobinas de los contactores.

La programación es básica pero no entra dentro del alcance del presente proyecto, simplemente se programa el PLC para que si se mantiene activa su entrada, se active su salida durante medio segundo y la mantenga desactivada durante otro medio segundo, con esta programación se consiguen 60 ciclos por minuto. Esta programación queda mejor representada en la Figura 3-15.

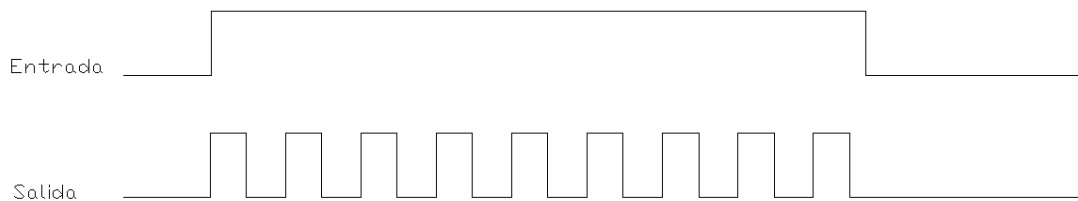


Figura 3-15: Salida del PLC en función de la entrada según la programación explicada.

Para controlar la entrada (activada o desactivada) del PLC se utiliza un interruptor, de esta manera al accionar dicho interruptor se activa la entrada del PLC y así el programa empieza a funcionar activando la salida durante medio segundo y desactivándola durante otro medio.

En definitiva lo que se obtiene gracias al circuito montado y a la programación del PLC es que al activar el interruptor de entrada del PLC los 4 contactores a ensayar realicen 60 cierres y aperturas en un minuto, es decir, un ciclo por segundo hasta completar los dos millones que propone la norma IEC. 60077-1 [1] distribuidos en varias secuencias. Para contabilizar el número de operaciones se instala un contador de flancos de subida en paralelo con la alimentación a las bobinas de los contactores a ensayar, de esta manera cada vez que se alimente a las bobinas el contador subirá una unidad.

Todo este circuito se puede ver más claramente en las siguientes imágenes, en la primera de ellas, la Figura 3-16, se muestra El PLC cableado, los 3 interruptores que aparecen en el circuito y el minicontactor que se alimenta desde la salida del PLC y es el encargado de abrir y cerrar el circuito de alimentación de los contactores a ensayar.

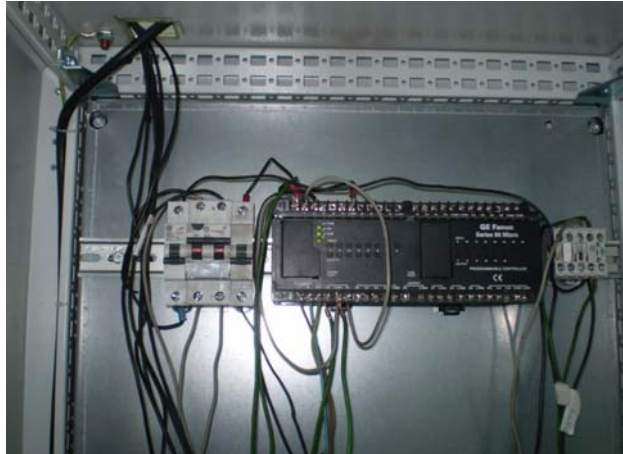
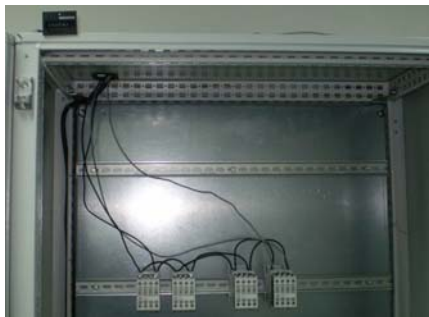


Figura 3-16: Montaje del circuito de control para el cierre y la apertura de los contactores en el ensayo de durabilidad mecánica.

Las muestras a ensayar se deben colocar en un armario diferente al del PLC ya que este ensayo crea partículas metálicas por el desgaste de los núcleos y armaduras y podrían dañar el PLC.

En la Figura 3-17 se puede apreciar el montaje en paralelo de las 4 muestras a ensayar del modelo CL01 y el contador de flancos de subida, este último se coloca en la parte superior del armario eléctrico para poder conocer el número de operaciones sin necesidad de abrirlo.



(a)



(b)

Figura 3-17: Montaje del circuito de alimentación de los contactores y contador de flancos en el ensayo de durabilidad mecánica.

Para el ensayo de durabilidad eléctrica todo es más sencillo ya que al ser un ensayo que se realiza habitualmente en el laboratorio, hay unas celdas eléctricas preparadas y programadas para tal fin, lo único necesario es calibrar las cargas para conseguir las condiciones exigidas en la normativa y cablear las muestras en el espacio habilitado para tal fin.

Es muy complicado conseguir justo las características marcadas en la normativa por eso se dan unas tolerancias de cada magnitud para poder jugar con ellas, la calibración no entra dentro del alcance de este proyecto ya que la realiza una persona del laboratorio

especializada en ello, los valores de corriente, tensión y factor de potencia se deben incluir en el informe junto con resultados obtenidos.

En la Figura 3-18 se observa la aparamenta interior que contiene la celda de durabilidad eléctrica para realizar el ensayo en los contactores. Esta celda simula las condiciones de arranque y parada de motores de jaula gracias a las cargas que existen en su parte posterior, no visibles en esta imagen, y a la programación de los dos PLC's.

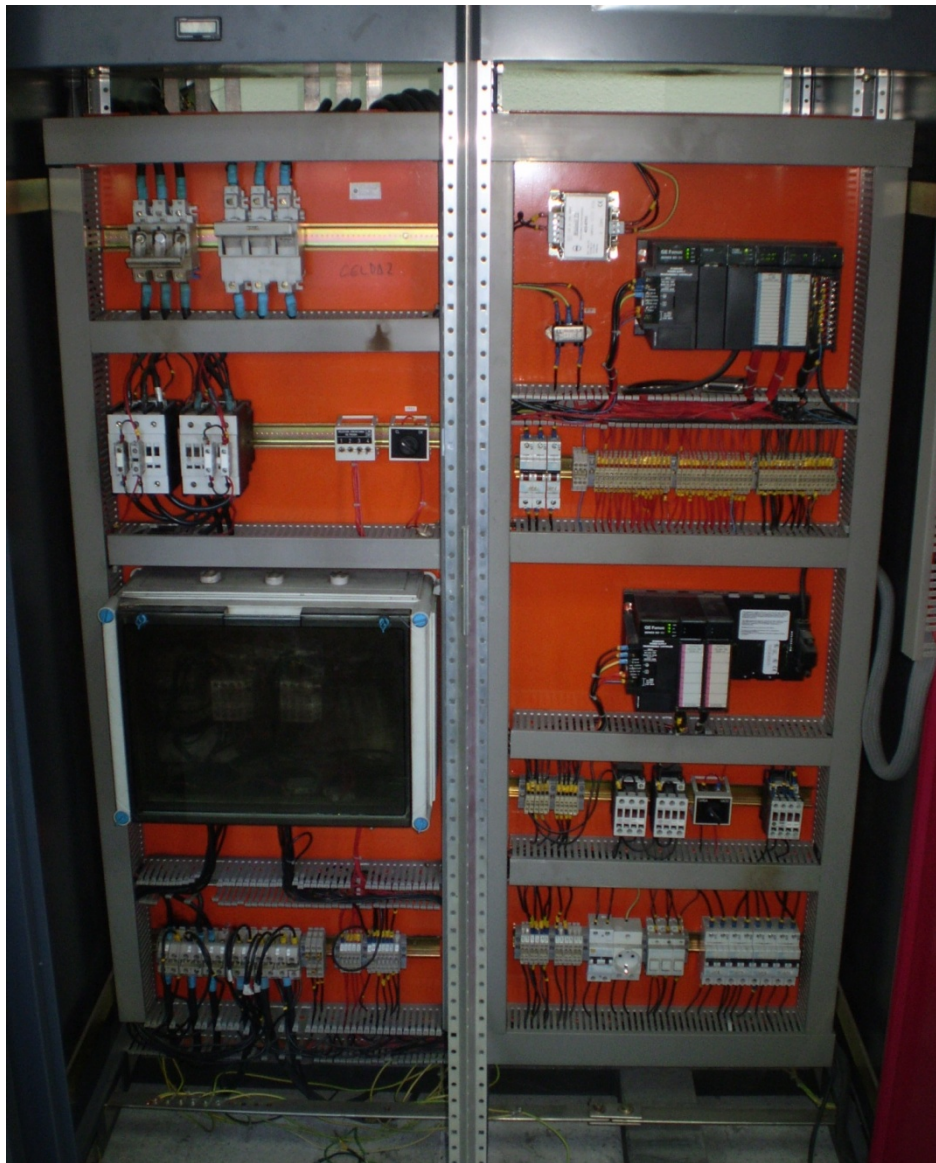


Figura 3-18: Celda del laboratorio para el ensayo de durabilidad eléctrica para una categoría de utilización AC-3.

Los contactores únicamente deben ser cableados en la caja de material plástico del lado izquierdo, los cables están etiquetados coincidiendo con la nomenclatura de los polos de un contactor, es decir, 1L1, 2T1, 3L2, 4T2, 5L3 y 6T3.

Además se deben adaptar dos auxiliares laterales que sirven de testigos de apertura y cierre mandando la señal al PLC, estos auxiliares funcionan de forma redundante uno con el otro por motivos de seguridad, con ellos se evita que el ensayo continúe si se ha producido una soldadura de contactos por ejemplo, ya que es el tipo de fallo producido más habitual en este ensayo.

La puesta en marcha se realiza desde el palen de control existente en la puerta de la celda una vez cerrada, ya que en ella se encuentran incluidos los interruptores de puesta en marcha, el selector para ensayar en categoría AC-3 o AC-4 y varios pilotos luminosos que avisan de que el ensayo está en marcha o de que se ha producido un fallo. Este panel de control es el mostrado en la Figura 3-19.



Figura 3-19: Panel de control celda para ensayo en categoría AC-3 o AC-4

Para la realización de estas secuencias de ensayos la norma propone 10 secuencias de operaciones mecánicas y eléctricas, para ahorrar tiempos y con la experiencia sobre este tipo de contactores se decide bajar el número de secuencias a 2, cada una de ellas conlleva realizar 1 millón de operaciones mecánicas y 4 mil operaciones eléctricas de

categoría AC-3, de este modo se realizan igualmente los 2 millones de operaciones mecánicas y las 8 mil operaciones eléctricas.

Después de la primera secuencia se debe hacer la comprobación rutinaria que exige la norma a lo largo del proyecto, y es realizar 20 operaciones del contactor alimentado la bobina a su tensión nominal. Esta vez no solo se debe comprobar que el contactor opera bien mecánicamente sino también y con ayuda de un multímetro medir la continuidad en cada uno de los polos de tal forma que se compruebe que los arcos eléctricos producidos en cada apertura bajo carga no han dañado tanto los contactos como para dejarlos inoperativos.

Tras esta comprobación se monta todo como anteriormente para que los contactores realicen primero el millón de operaciones mecánicas y posteriormente las 4 mil operaciones eléctricas de categoría AC-3 restantes.

Por último y si los contactores pasan la prueba nuevamente de realizar 20 operaciones mecánicas y de continuidad en todos los polos, se termina con dos ensayos realizados en anteriores capítulos del proyecto, en primer lugar la verificación de las propiedades dieléctricas tal y como se ha hecho en el capítulo 3.3.3. del proyecto pero con los valores de la tensión de ensayo reducidos al 75%. En segundo lugar y por último se procede a la verificación del aumento de la temperatura en los mismos puntos y con la misma forma de proceder que en capítulo 3.3.2. comprobando que las temperaturas no han aumentado más de 20 °C en dichos puntos.

Los resultados obtenidos en todos estos ensayos se detallan a continuación.

Inicialmente se realiza la primera secuencia completa a todas las muestras de los dos modelos de contactor, los resultados se muestran en la Tabla 3-35 y la Tabla 3-36.

| 1ª Secuencia de durabilidad mecánica | | | | |
|---|----|-----------------------------|-------------------------------|---|
| Muestra y N° | | Operaciones exigidas | Operaciones realizadas | Estado final contactor |
| CL25 | 1 | 1.000.000 | 1.000.324 | Su funcionamiento sigue siendo adecuado |
| CL25 | 2 | 1.000.000 | 1.000.324 | Su funcionamiento sigue siendo adecuado |
| CL25 | 3 | 1.000.000 | 1.000.324 | Su funcionamiento sigue siendo adecuado |
| CL25 | 4 | 1.000.000 | 1.000.324 | Su funcionamiento sigue siendo adecuado |
| CL01 | 13 | 1.000.000 | 1.000.232 | Su funcionamiento sigue siendo adecuado |
| CL01 | 14 | 1.000.000 | 1.000.232 | Su funcionamiento sigue siendo adecuado |
| CL01 | 15 | 1.000.000 | 1.000.232 | Su funcionamiento sigue siendo adecuado |
| CL01 | 16 | 1.000.000 | 1.000.232 | Su funcionamiento sigue siendo adecuado |

Tabla 3-35: Resultados de durabilidad mecánica de la primera secuencia de operaciones.

| 1ª Secuencia de durabilidad eléctrica | | | | | | |
|--|--------------------|----------------------|--------------------|------------------------|--------------------|-------|
| Característica | I _N (A) | I _C (A) | I _A (A) | U _N (A) | U _C (A) | Cos Φ |
| Valores exigidos para CL25 | 25 | 25*6=150 | 25 | 400 | 400 | 0,35 |
| Valores conseguido en la calibración para CL25 | - | 152 | 25,3 | 417 | 417 | 0,36 |
| Valores exigidos para CL01 | 12 | 12*6=72 | 12 | 400 | 400 | 0,65 |
| Valores conseguido en la calibración para CL01 | - | 74 | 12,3 | 405 | 405 | 0,62 |
| Muestra y N° | | Operaciones exigidas | | Operaciones realizadas | | |
| CL25 | 1 | 4.000 | | 4.005 | | |
| CL25 | 2 | 4.000 | | 4.005 | | |
| CL25 | 3 | 4.000 | | 4.012 | | |
| CL25 | 4 | 4.000 | | 4.012 | | |
| CL01 | 13 | 4.000 | | 4.010 | | |
| CL01 | 14 | 4.000 | | 4.010 | | |
| CL01 | 15 | 4.000 | | 4.007 | | |
| CL01 | 16 | 4.000 | | 4.007 | | |
| I _N = Corriente nominal del contactor I _C = Corriente máxima o pico que establece el contactor en su cierre. I _A = Corriente que interrumpida por el contactor en el momento de su apertura. U _N = Tensión nominal del contactor. U _C = Tensión aplicada antes del cierre del contactor. U _A = Voltaje de recuperación Cos Φ = Factor de potencia Tolerancias: corriente= ±5%; tensión=±5%; Cos Φ=±0,05%. | | | | | | |

Tabla 3-36: Resultados de durabilidad eléctrica de la primera secuencia de operaciones.

Después de esta primera secuencia y a la vista de unos resultados positivos se procede a la comprobación del funcionamiento de los contactores ensayados, simplemente se alimenta desde la fuente variable de tensión cada contactor con 110 V de CC, se verifica que realiza un buen cierre con ayuda de un polímetro, comprobando que hay continuidad en los 3 polos de cada contactor como se ha explicado anteriormente. Los resultados de esta de esta comprobación aparecen en la Tabla 3-37.

| 1ª comprobación de las muestras tras la primera secuencia de operaciones mecánicas y eléctricas. | | | | | |
|---|----|-------------------------------|---------------------|---------------------|---------------------|
| Muestra y N° | | Resultado de 20 Op. mecánicas | Estado Polo 1L1-2T1 | Estado polo 1L1-2T1 | Estado Polo 1L1-2T1 |
| CL25 | 1 | Positivo | OK | OK | OK |
| CL25 | 2 | Positivo | OK | OK | OK |
| CL25 | 3 | Positivo | OK | OK | OK |
| CL25 | 4 | Positivo | OK | OK | OK |
| CL01 | 13 | Positivo | OK | OK | OK |
| CL01 | 14 | Positivo | OK | OK | OK |
| CL01 | 15 | Positivo | OK | OK | OK |
| CL01 | 16 | Positivo | OK | OK | OK |

Tabla 3-37: Resultados de la primera comprobación después de realizar la primera secuencia completa.

Tras estos resultados se procede a montar de nuevo las muestras para realizar la segunda secuencia del durabilidad mecánica y eléctrica, los resultados obtenidos aparecen en la Tabla 3-38 y la Tabla 3-39.

| 2ª Secuencia de durabilidad mecánica | | | | |
|---|----|-----------------------------|-------------------------------|---|
| Muestra y N° | | Operaciones exigidas | Operaciones realizadas | Estado final contactor |
| CL25 | 1 | 1.000.000 | 1.000.122 | Su funcionamiento sigue siendo adecuado |
| CL25 | 2 | 1.000.000 | 1.000.122 | Su funcionamiento sigue siendo adecuado |
| CL25 | 3 | 1.000.000 | 1.000.122 | Su funcionamiento sigue siendo adecuado |
| CL25 | 4 | 1.000.000 | 1.000.122 | Su funcionamiento sigue siendo adecuado |
| CL01 | 13 | 1.000.000 | 1.000.098 | Su funcionamiento sigue siendo adecuado |
| CL01 | 14 | 1.000.000 | 1.000.098 | Su funcionamiento sigue siendo adecuado |
| CL01 | 15 | 1.000.000 | 1.000.098 | Su funcionamiento sigue siendo adecuado |
| CL01 | 16 | 1.000.000 | 1.000.098 | Su funcionamiento sigue siendo adecuado |

Tabla 3-38: Resultados de durabilidad mecánica de la segunda secuencia de operaciones.

| 2ª Secuencia de durabilidad eléctrica | | | | | | |
|--|--------------------|----------------------|--------------------|------------------------|--------------------|-------|
| Característica | I _N (A) | I _C (A) | I _A (A) | U _N (A) | U _C (A) | Cos Φ |
| Valores exigidos para CL25 | 25 | 25*6=150 | 25 | 400 | 400 | 0,35 |
| Valores conseguido en la calibración para CL25 | - | 152 | 25,3 | 417 | 417 | 0,36 |
| Valores exigidos para CL01 | 12 | 12*6=72 | 12 | 400 | 400 | 0,65 |
| Valores conseguido en la calibración para CL01 | - | 74 | 12,3 | 405 | 405 | 0,62 |
| Muestra y N° | | Operaciones exigidas | | Operaciones realizadas | | |
| CL25 | 1 | 4.000 | | 4.004 | | |
| CL25 | 2 | 4.000 | | 4.004 | | |
| CL25 | 3 | 4.000 | | 4.003 | | |
| CL25 | 4 | 4.000 | | 4.003 | | |
| CL01 | 13 | 4.000 | | 4.006 | | |
| CL01 | 14 | 4.000 | | 4.006 | | |
| CL01 | 15 | 4.000 | | 4.009 | | |
| CL01 | 16 | 4.000 | | 4.009 | | |

I_N = Corriente nominal del contactor
I_C = Corriente máxima o pico que establece el contactor en su cierre.
I_A = Corriente que interrumpida por el contactor en el momento de su apertura.
U_N = Tensión nominal del contactor.
U_C = Tensión aplicada antes del cierre del contactor.
U_A = Voltaje de recuperación
Cos Φ = Factor de potencia
Tolerancias: corriente= ±5%; tensión=±5%; Cos Φ=±0,05%.

Tabla 3-39: Resultados de durabilidad eléctrica de la primera secuencia de operaciones.

Tal y como se ha procedido antes tras la segunda y última secuencia se debe verificar de nuevo la comprobación del funcionamiento de los contactores ensayados, alimentando cada contactor con 110 V de CC, se comprueba con ayuda de un polímetro que existe continuidad en los 3 polos de cada contactor. Los resultados son los expuestos en la Tabla 3-40.

| 2ª comprobación de las muestras tras la primera secuencia de operaciones mecánicas y eléctricas. | | | | | |
|---|----|--------------------------------------|----------------------------|----------------------------|----------------------------|
| Muestra y N° | | Resultado de 20 Op. mecánicas | Estado Polo 1L1-2T1 | Estado polo 1L1-2T1 | Estado Polo 1L1-2T1 |
| CL25 | 1 | Positivo | OK | OK | OK |
| CL25 | 2 | Positivo | OK | OK | OK |
| CL25 | 3 | Positivo | OK | OK | OK |
| CL25 | 4 | Positivo | OK | OK | OK |
| CL01 | 13 | Positivo | OK | OK | OK |
| CL01 | 14 | Positivo | OK | OK | OK |
| CL01 | 15 | Positivo | OK | OK | OK |
| CL01 | 16 | Positivo | OK | OK | OK |

Tabla 3-40: Resultados de la segunda comprobación después de realizar la segunda secuencia completa.

Por último se procede a realizar los ensayos de verificación, en primer lugar de las propiedades dieléctricas tal y como se ha hecho en el capítulo 3.3.3. del proyecto pero con los valores de tensión de ensayo reducidos al 75%. En segundo lugar y por último se realiza la verificación del aumento de la temperatura en los mismos puntos y con la misma forma de proceder que en capítulo 3.3.2. comprobando que las temperaturas no superan en más de 20 °C los resultados anteriores.

Los valores de tensión y los puntos donde se debe aplicar esa tensión se recuerdan a continuación evitando así tener que retroceder en la lectura del presente proyecto.

Con el contactor cerrado se aplican 2625V:

1. Entre todos los terminales conectados juntos incluyendo el circuito auxiliar, en caso de tenerlo y tierra.
2. Entre la fase R y todas las demás fases conectadas a tierra.
3. Entre la fase S y todas las demás fases conectadas a tierra.
4. Entre la fase T y todas las demás fases conectadas a tierra
5. Entre el circuito auxiliar (si lo posee) y todas las fases conectadas a tierra.
6. Entre el terminal de entrada del circuito auxiliar (solo si es NC) y su terminal de salida y tierra.

Con el contactor abierto se aplican 2325V:

7. Entre todos los terminales de entrada del circuito principal y circuito auxiliar (solo si es NO) unidos y todos los terminales de salida unidos y tierra.
8. Entre los terminales de alimentación de la bobina y todos los terminales conectados a tierra.

Todos estos casos se realizan con un tiempo de rampa, $T_{\text{rampa}}=10$ segundos, un tiempo de ensayo, $T_{\text{ensayo}}=60$ segundos y una corriente de fuga máxima de 10 mA.

Los resultados de la verificación de las propiedades dieléctricas en los puntos anteriormente citados son los que reflejan la Tabla 3-41.

| MUESTRA | | RESULTADOS DE LA VERIFICACIÓN DE LAS PROPIEDADES DIELECTRICAS. | | | | | | | |
|---------|----|--|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
| | | Caso 1 | Caso 2 | Caso 3 | Caso 4 | Caso 5 | Caso 6 | Caso 7 | Caso 8 |
| CL25 | 1 | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ | - | ✓ | ✓ |
| CL25 | 2 | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ | - | ✓ | ✓ |
| CL25 | 3 | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ | - | ✓ | ✓ |
| CL25 | 4 | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ | - | ✓ | ✓ |
| CL01 | 13 | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ |
| CL01 | 14 | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ |
| CL01 | 15 | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ |
| CL01 | 16 | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ |

Leyenda: ✓ = positivo, X = negativo, - = no ensayado.

Tabla 3-41: Resultados del ensayo de verificación de las propiedades dieléctricas para el modelo CL25 y CL01.

A la vista de unos resultados positivos en la anterior verificación se procede por último a realizar la verificación de aumento de temperatura, según la normativa sería necesario comprobar una mayor caída de tensión que en el ensayo de aumento de temperatura realizado anteriormente. Con la experiencia adquirida en el laboratorio se sabe que un ensayo tan severo como es el de durabilidad eléctrica daña los contactos en mayor o menor medida, por este motivo se realiza de nuevamente sin necesidad de una comprobación anterior. Los resultados obtenidos del modelo CL25 de temperatura absoluta, relativa respecto la interior y la diferencia de temperatura de cada terminal respecto el ensayo anterior aparecen en la Tabla 3-42, Tabla 3-43 y la Tabla 3-44 respectivamente.

| Nº de muestra | Modelo | Corriente de ensayo | Sección cableado ensayo | Tª absoluta | | | | | | | |
|---------------|--------|---------------------|-------------------------|-------------|--------|--------|--------|--------|--------|------------|------------|
| | | | | Tª 1L1 | Tª 2T1 | Tª 3L2 | Tª 4T2 | Tª 5L3 | Tª 6T3 | Tª Externa | Tª Interna |
| 1 | CL 25 | 25 A | 6 mm ² | 63,75 | 58,93 | 63,94 | 63,35 | 62,90 | 67,29 | 25,10 | 34,42 |
| 2 | CL 25 | 25 A | 6 mm ² | 71,78 | 65,50 | 63,80 | 68,71 | 68,53 | 61,26 | 25,10 | 34,42 |
| 3 | CL 25 | 25 A | 6 mm ² | 72,70 | 69,54 | 74,84 | 74,23 | 65,85 | 67,19 | 24,06 | 36,37 |
| 4 | CL 25 | 25 A | 6 mm ² | 74,03 | 67,16 | 72,21 | 73,70 | 74,25 | 69,03 | 24,06 | 36,37 |

Tabla 3-42: Resultados de temperatura absoluta en la verificación de aumento de temperatura para el modelo CL25.

| Nº de muestra | Modelo | Corriente de ensayo | Sección cableado ensayo | Tª Externa | Tª Interna | Tª relativa sobre Tª interna | | | | | |
|---------------|--------|---------------------|-------------------------|------------|------------|------------------------------|--------|--------|--------|--------|--------|
| | | | | | | Tª 1L1 | Tª 2T1 | Tª 3L2 | Tª 4T2 | Tª 5L3 | Tª 6T3 |
| 1 | CL 25 | 25 A | 6 mm ² | 25,10 | 34,42 | 29,33 | 24,51 | 29,52 | 28,93 | 28,48 | 32,87 |
| 2 | CL 25 | 25 A | 6 mm ² | 25,10 | 34,42 | 37,36 | 31,08 | 29,38 | 34,29 | 34,11 | 26,84 |
| 3 | CL 25 | 25 A | 6 mm ² | 24,06 | 36,37 | 36,32 | 33,17 | 38,47 | 37,86 | 29,48 | 30,82 |
| 4 | CL 25 | 25 A | 6 mm ² | 24,06 | 36,37 | 37,66 | 30,79 | 35,84 | 37,33 | 37,88 | 32,66 |

Tabla 3-43: Resultados de temperatura relativa en la verificación de aumento de temperatura para el modelo CL25.

| Diferencia de temperatura con ensayo anterior | | | | | | | |
|---|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
| Nº de muestra | Modelo | Tª 1L1 | Tª 2T1 | Tª 3L2 | Tª 4T2 | Tª 5L3 | Tª 6T3 |
| 1 | CL 25 | 7,51 | 6,38 | 8,27 | 9,95 | 6,98 | 15,95 |
| 2 | CL 25 | 15,10 | 11,96 | 1,64 | 12,10 | 13,67 | 8,36 |
| 3 | CL 25 | 18,70 | 17,73 | 18,68 | 18,00 | 13,91 | 15,86 |
| 4 | CL 25 | 17,41 | 9,92 | 7,35 | 8,12 | 14,29 | 12,96 |

Tabla 3-44: Diferencia de temperatura en cada terminal respecto del primer ensayo realizado de aumento de temperatura en el modelo CL25.

Los resultados obtenidos del modelo CL01 de temperatura absoluta, relativa respecto la interior y la diferencia de temperatura de cada terminal respecto el ensayo anterior aparecen en la Tabla 3-45, Tabla 3-46 y la Tabla 3-47 respectivamente.

| Nº de muestra | Modelo | Corriente de ensayo | Sección cableado ensayo | Tª absoluta | | | | | | | |
|---------------|--------|---------------------|-------------------------|-------------|--------|--------|--------|--------|--------|------------|------------|
| | | | | Tª 1L1 | Tª 2T1 | Tª 3L2 | Tª 4T2 | Tª 5L3 | Tª 6T3 | Tª Externa | Tª Interna |
| 13 | CL 01 | 12 A | 1,5 mm ² | 60,81 | 63,28 | 64,26 | 62,38 | 64,22 | 61,74 | 24,60 | 33,29 |
| 14 | CL 01 | 12 A | 1,5 mm ² | 51,48 | 52,68 | 54,02 | 53,48 | 52,76 | 52,91 | 24,60 | 33,29 |
| 15 | CL 01 | 12 A | 1,5 mm ² | 60,91 | 58,45 | 55,76 | 54,02 | 56,07 | 51,91 | 23,94 | 31,84 |
| 16 | CL 01 | 12 A | 1,5 mm ² | 52,21 | 53,90 | 54,68 | 55,32 | 52,90 | 56,61 | 23,94 | 31,84 |

Tabla 3-45: Resultados de temperatura absoluta en la verificación de aumento de temperatura para el modelo CL01.

| Nº de muestra | Modelo | Corriente de ensayo | Sección cableado ensayo | Tª Externa | Tª Interna | Tª relativa sobre Tª interna | | | | | |
|---------------|--------|---------------------|-------------------------|------------|------------|------------------------------|--------|--------|--------|--------|--------|
| | | | | | | Tª 1L1 | Tª 2T1 | Tª 3L2 | Tª 4T2 | Tª 5L3 | Tª 6T3 |
| 13 | CL 01 | 12 A | 1,5 mm ² | 24,60 | 33,29 | 27,52 | 29,99 | 30,97 | 29,09 | 30,93 | 28,45 |
| 14 | CL 01 | 12 A | 1,5 mm ² | 24,60 | 33,29 | 18,18 | 19,39 | 20,72 | 20,19 | 19,46 | 19,62 |
| 15 | CL 01 | 12 A | 1,5 mm ² | 23,94 | 31,84 | 29,07 | 26,61 | 23,92 | 22,18 | 24,23 | 20,07 |
| 16 | CL 01 | 12 A | 1,5 mm ² | 23,94 | 31,84 | 20,37 | 22,06 | 22,84 | 23,48 | 21,06 | 24,77 |

Tabla 3-46: Resultados de temperatura relativa en la verificación de aumento de temperatura para el modelo CL01.

| Diferencia de temperatura con ensayo anterior | | | | | | | |
|--|--------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|
| Nº de muestra | Modelo | T ^a 1L1 | T ^a 2T1 | T ^a 3L2 | T ^a 4T2 | T ^a 5L3 | T ^a 6T3 |
| 13 | CL 01 | 14,58 | 18,28 | 17,71 | 17,40 | 18,91 | 18,87 |
| 14 | CL 01 | 7,94 | 10,28 | 8,90 | 9,21 | 10,20 | 8,82 |
| 15 | CL 01 | 18,70 | 17,52 | 11,98 | 11,81 | 12,38 | 9,39 |
| 16 | CL 01 | 9,65 | 12,96 | 10,25 | 12,58 | 9,27 | 12,92 |

Tabla 3-47: Diferencia de temperatura en cada terminal respecto del primer ensayo realizado de aumento de temperatura en el modelo CL01.

Como se puede comprobar todos los valores siguen dentro de norma, los terminales no superan en ningún momento los 40 °C de temperatura relativa, por tanto es válido declarar un funcionamiento correcto de estos dos modelos de contactor con temperaturas ambientes de hasta 55 °C. Además la diferencia de temperatura no supera los 20 °C en ninguno de los terminales. De este modo que da verificado el aumento de temperatura y a la vista de los resultados validado el ensayo.

Con esta prueba finaliza el ensayo de durabilidad eléctrica y mecánica, cumpliendo los valores exigidos en normativa. Además, con este ensayo finaliza la Secuencia número I, por ello las muestras utilizadas no deben ser usadas en ninguna otra secuencia ya que han sufrido ensayos destructivos en su última fase, quedando afectados como refleja la temperatura de sus terminales ante el paso de la corriente nominal.

3.4. SECUENCIA DE ENSAYOS II.

3.4.1. VIBRACIÓN.

3.4.1.1 NORMATIVA.

De la norma IEC-60077-2 [2] se extrae con referencia a este ensayo el artículo:

9.3.4.1 Vibración.

Los ensayos de vibración se llevarán a cabo de conformidad con los requisitos indicados en 9.3.5 de la norma IEC 60077-1 [1] y de la norma EN 61373 [7].

Cuando el componente tenga varios estados mecánicos, la duración del ensayo se distribuirá de tal manera que:

- Esta distribución representa la espera del servicio.
- Todos los estados mecánicos son ensayados.

El artículo al que hace referencia el apartado anterior en IEC-60077-1 [1] es el siguiente:

9.3.5 Vibración y choque.

Los ensayos de vibración y choque se llevarán a cabo de acuerdo con los requisitos indicados en la norma IEC 61373 [7].

Las dos normas [1] y [2] conducen a la norma IEC 61373 [7] en la que los artículos referentes a este ensayo dicen:

6.3.1 Estado mecánico.

Si el equipo bajo prueba tiene más de un estado mecánico en el que podría permanecer durante largos períodos de tiempo una vez instalado en el vehículo ferroviario, los dos estados mecánicos serán seleccionados con fines de prueba. Al menos uno de los peores estados será seleccionado (por ejemplo, en el caso de un contactor, el estado mecánico que ofrece menos presión de sujeción).

Cuando exista más de un estado, el equipo objeto del ensayo deberá pasar el mismo tiempo en los dos estados seleccionados durante las pruebas de choque y vibraciones.

6.3.3 Pruebas de rendimiento.

Las pruebas de rendimiento se llevarán a cabo antes de comenzar, y al término de todos los ensayos especificados. El rendimiento especificado para la prueba debe ser definido por el fabricante y deberá incluir los límites de tolerancia.

9. Ensayo con niveles de vibración en aumento.

9.1 Severidad del ensayo y rango frecuencia.

Cuando la ubicación de los equipos no está clara o es desconocida, el equipo será sometido al ensayo de los niveles verticales con las condiciones de la Tabla 3-48 o la en los tres planos.

| Categoría | Orientación | 5h de ensayo m/s ² | Rango de frecuencia |
|--|---|----------------------------------|---|
| Clase B Montado en bastidor | Vertical Transversal Longitudinal | 7,9 3,5 5,5 | Cuando la masa es menor que 500 kg: $f_1=5$ Hz y $f_2=150$ Hz Cuando la masa está entre 500 y 1250: $f_1 = (1250/masa) \times 2$ Hz y $f_2 = (1250/masa) \times 60$ Hz Cuando la masa es mayor que 1250: $f_1=2$ Hz y $f_2=60$ Hz |
| Densidad espectral de aceleración (ASD): Vertical $1,857 (m/s^2)^2 / Hz$ Transversal $0,366 (m/s^2)^2 / Hz$ Longitudinal $0,901 (m/s^2)^2 / Hz$ | | | |

Tabla 3-48: Severidad del ensayo y rango de frecuencia.

3.4.1.2. INTERPRETACIÓN DE LA NORMATIVA ANTERIOR.

Tal como se aprecia en la normativa anterior las condiciones de este ensayo las fija básicamente la norma IEC 61373 [7].

En primer lugar advierte que en caso de que el aparato a probar posea más de un estado mecánico se debe ensayar en todos ellos. En este caso concreto, los contactores poseen dos estados mecánicos, en reposo el muelle ejerce una fuerza capaz de mantener el contactor abierto fiablemente, en cambio si se energiza la bobina del contactor se crea un flujo magnético en el núcleo capaz de atraer a la armadura venciendo la fuerza del muelle que las separa.

Antes de comenzar el ensayo se debe verificar la operatividad correcta de los contactores, deben realizar 20 operaciones al alimentar la bobina a su tensión nominal, es decir realizar 20 cierres fiables y consecutivos.

Se debe realizar el ensayo montado en un bastidor y debido a que la posición final de la instalación de la muestra para el eje horizontal no está definido, se debe tomar el mayor valor de la aceleración.

Por tanto los parámetros de ensayo deben ser:

Aceleración (RMS):

- vertical: $7,90 \text{ m/s}^2$
- transversal/longitudinal: $5,50 \text{ m/s}^2$

Densidad espectral de aceleración (ASD):

- vertical: $1,857 (\text{m/s}^2)^2 / \text{Hz}$
- transversal/longitudinal: $0,901 (\text{m/s}^2)^2 / \text{Hz}$

Dado que la masa de un contactor de esta gama siempre va a ser menor que 500 Kg se debe ensayar en un rango de frecuencias desde 5 Hz hasta 150 Hz a lo largo de 5 horas en cada eje, haciendo un total de 15 horas de ensayo por contactor.

Cada muestra a ensayar debe operar durante 5 horas en cada eje como se indica anteriormente, pero tal y como marca la normativa al tratarse de un dispositivo con dos estados mecánicos se debe proceder a ensayar 2,5 horas con el contactor cerrado y las otras 2,5 horas con el mismo abierto. En cada periodo de 2,5 horas el contactor debe sufrir las condiciones de vibración completas, es decir, partir desde una frecuencia inicial de 5Hz hasta llegar a 150Hz.

Todos estos parámetros son los que deben ser introducidos en la máquina de vibración durante su programación.

Con este ensayo se pretende comprobar que el diseño del contactor es robusto y que una vibración producida por algún otro componente de la instalación o por la propia máquina ferroviaria no es capaz de cambiar el estado del contactor, es decir, que estando el contactor en posición abierta o de reposo, no se cierra por el efecto producido por una vibración de las características indicadas en la norma [7] cerrando así el circuito que controla; y por otro lado si el contactor está en posición cerrada o alimentado, una vibración no produce la apertura del mismo y por tanto del circuito que controla.

3.4.1.3. ENSAYOS REALIZADOS Y RESULTADOS OBTENIDOS.

Los ensayos realizados quedan fuera del alcance del presente proyecto ya que en el laboratorio no se dispone de la maquinaria necesaria para realizar esta secuencia de ensayos completa.

Es posible realizar el ensayo de vibración pero no la prueba de choque, por tanto se decide enviar las muestras de la Tabla 3-49 al laboratorio de Hungría, donde disponen de la maquinaria necesaria para realizar la Secuencia de ensayos II casi completa.

| Muestras para la realización de la Secuencia de ensayos II | | | | | |
|---|----------------------|------------------------|---------------|----------------------|------------------------|
| Modelo | Nº de muestra | Tensión nominal | Modelo | Nº de muestra | Tensión nominal |
| CL25 | 9 | 24 V | CL01 | 21 | 24 V |
| CL25 | 10 | 24 V | CL01 | 22 | 24 V |
| CL25 | 11 | 24 V | CL01 | 23 | 24 V |
| CL25 | 12 | 24 V | CL01 | 24 | 24 V |

Tabla 3-49: Muestras enviadas al laboratorio ubicada en Hungría para realizar los ensayos de la secuencia II.

No obstante se muestra a continuación un pequeño guión para que conste en el proyecto el tipo de pruebas realizadas.

La muestra debe ser colocada tal como muestra la Figura 3-20 en el carril din del dispositivo que va acoplado a la máquina de vibración, el dispositivo está construido de tal manera que cambiando su posición se consigue que el contactor pueda vibrar longitudinalmente en los 3 ejes tal y como marca la normativa.



Figura 3-20: Máquina de vibración.

En la Figura 3-21 (a) aparece el panel de control donde se deben introducir, mediante la consola, todos los parámetros de frecuencia inicial y final, duración de ensayo, densidad espectral de aceleración, etc. Cuando el ensayo está en marcha, se consigue la vibración programada ya el panel del control posee un regulador para controlar a tiempo real la vibración de la máquina, este regulador, tal y como muestra la Figura 3-21 (b), tiene una entrada que recibe la señal de vibración directamente de la máquina para así poder actuar sobre ella.



Figura 3-21: Panel de control de la máquina de vibración. (a): Consola de configuración; (b): Regulador con entrada conectada a la máquina de vibración.

Para la comprobación de un buen funcionamiento del contactor ante las vibraciones, se deben verificar las pruebas mencionadas en los tres ejes de la muestra tal y como se indica en la Figura 3-22.

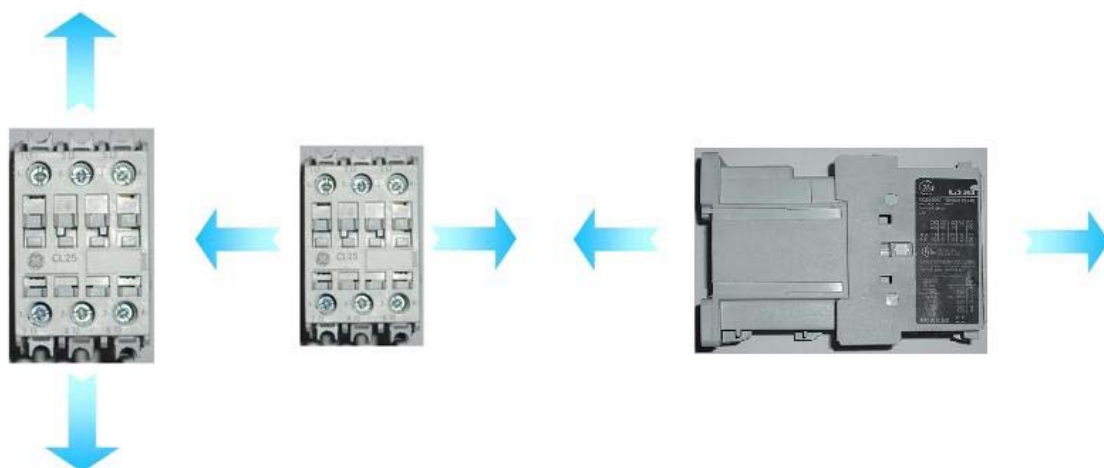
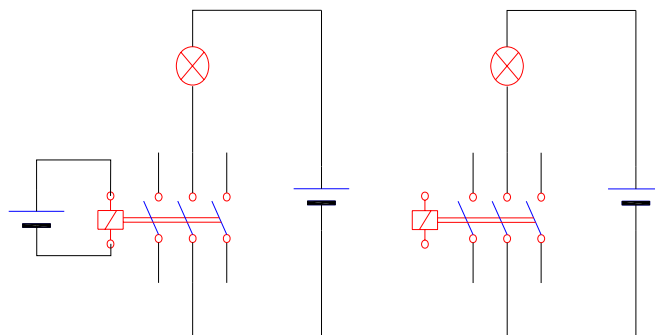


Figura 3-22: Direcciones de vibración sobre los 3 ejes para el ensayo de vibración

Para comprobar que los resultados del ensayo son satisfactorios se debe crear un circuito en el que el contactor actúa como interruptor de un piloto luminoso en un circuito muy simple como el que se muestra en el Figura 3-22.

El polo central del contactor cierra o abre el circuito, en cada ensayo de 5 horas se debe mantener el contactor cerrado durante 2,5 horas y en este tiempo el piloto estará encendido, el ensayo no será satisfactorio si en este tiempo se producen aperturas a causa de la vibración, o lo que es lo mismo el piloto se apaga o parpadea. En el caso contrario, durante las 2,5 horas de ensayo con el contactor sin alimentación, es decir abierto, el piloto luminoso debe permanecer apagado o sin parpadeos, en caso contrario los resultados invalidarán la homologación del contactor bajo esta normativa.



Esquema 3-11: Circuitos necesarios para la comprobación del ensayo de vibración.

En algún caso puede llegar a ser muy difícil detectar el parpadeo del piloto o incluso estar presente a lo largo de todo el ensayo, en este caso se puede acoplar en paralelo con el piloto luminoso la entrada de un osciloscopio, de esta manera seleccionando un trigger de flanco de subida o bajada, según el caso, quedaría reflejado en la pantalla del osciloscopio un fallo en el ensayo.

3.4.2. CHOQUE.

3.4.2.1. NORMATIVA.

El artículo referente a esta ensayo en la norma IEC-60077-2 [2] es:

9.3.4.2 Choque.

El ensayo de choque se llevará a cabo de acuerdo con los requisitos indicados en 9.3.5 de la norma IEC 60077-1 [1] y de la norma IEC 61373 [7].

Cuando la muestra tiene varias posiciones, el número total de choques se distribuirán de forma que se prueben todas las posiciones.

Tal y como indica el apartado anterior, la norma IEC 60077-1 [1] para este ensayo de choque marca en el punto:

9.3.5 Vibración y choque.

Los ensayos de vibración y choque se llevarán a cabo de acuerdo con los requisitos indicados en la norma [7] IEC 617373.

Como en el ensayo anterior de vibración, según las normas IEC 60077-1 [1] y IEC-60077-2 [2], las condiciones principales del ensayo de choque se indican en artículos de la norma IEC-61373 [7]:

10.6 Número de choques.

Los 18 choques (tres positivos y tres negativos en cada uno de los tres planos ortogonales). Esta prueba se repetirá para cada estado mecánico definido en 6.3.1.

10.7 Funcionamiento durante el ensayo.

No es necesario que el equipo opere durante los ensayos. Sin embargo, algunos equipos deben mantener la integridad de su función y se comprobará lo solicitado por el fabricante o el cliente en la especificación de prueba, salvo que se indique en la correspondiente norma de producto. Las condiciones a cumplir en el ensayo se detallan en la Tabla 3-50.

| Categoría | Orientación | Pico de aceleración | Duración nominal |
|-----------|--------------|---------------------|------------------|
| Clase B | Vertical | 30 m/s ² | 30 ms |
| | Transversal | 30 m/s ² | 30 ms |
| | Longitudinal | 50 m/s ² | 30 ms |

Tabla 3-50: Condiciones para la prueba de choque.

3.4.2.2. INTERPRETACIÓN DE LA NORMATIVA ANTERIOR.

Tal y como sucede en el anterior ensayo de vibración, las condiciones principales para el ensayo de choque son fijadas en la norma IEC 61373 [7].

En el ensayo se deben realizar 18 pruebas de choque en cada estado del contactor, es decir, realizar las pruebas primero con el contactor abierto o sin alimentación y una vez hecho esto, alimentando el contactor hacer las pruebas de nuevo. El total de choques por tanto son 36, deben hacerse 3 pruebas de choque en cada sentido de cada uno de los 3 ejes tal como indica la Figura 3-23, y todo esto para los dos estados mecánicos del contactor.

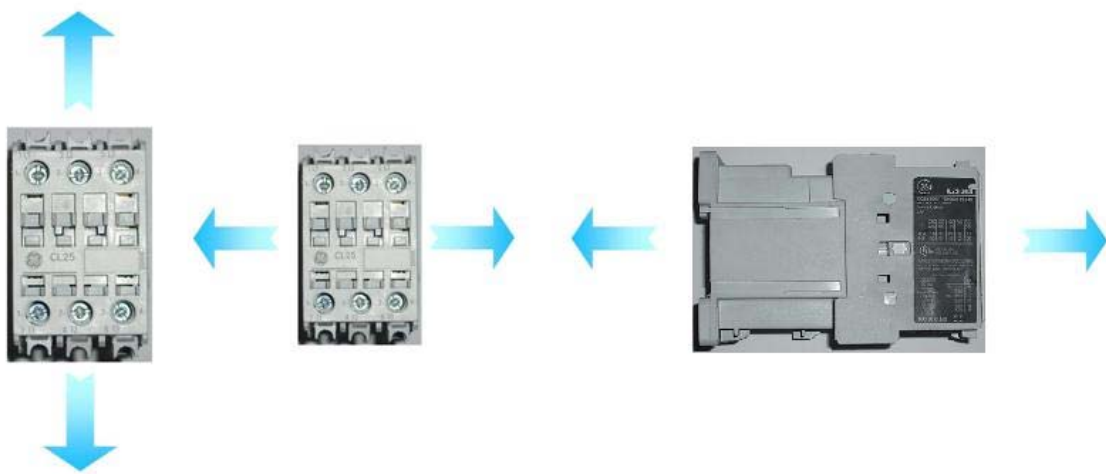


Figura 3-23: Ejes en los que se debe realizar la prueba de choque.

Las condiciones que se deben cumplir en el ensayo se detallan en la Tabla 3-50, estos datos deben ser los introducidos en la programación de la máquina preparada para realizar el ensayo de choque.

3.4.2.3. ENSAYOS REALIZADOS Y RESULTADOS OBTENIDOS.

Como ya se ha dicho anteriormente los ensayos realizados quedan fuera del alcance del presente proyecto ya que en el laboratorio no se dispone de la maquinaria necesaria para realizar este ensayo. Esta razón fue el desencadenante de enviar las 8 muestras al laboratorio de Hungría para que allí se realice la Secuencia II casi completa al disponer de toda la maquinaria necesaria.

A pesar de que el ensayo explicado queda fuera del alcance del presente proyecto los resultados si son necesarios para el mismo, por ello desde el laboratorio de Hungría se recibe, junto con las muestras enviadas anteriormente, un informe de resultados totalmente positivos. Estos resultados quedan resumidos en la Tabla 3-51 para el ensayo de vibración y en la Tabla 3-52 para el ensayo de choque.

| Vibración | | | | | | | | |
|-----------|---------------|---------------------------------------|-------|-------|---------------------------------------|-------|-------|--|
| Modelo | Nº de muestra | Resultados 2,5 horas sin alimentación | | | Resultados 2,5 horas con alimentación | | | Resultado 20 operaciones alimentando a $U_n=24V$ |
| | | Eje x | Eje y | Eje z | Eje x | Eje y | Eje z | |
| CL25 | 9 | OK | OK | OK | OK | OK | OK | OK |
| CL25 | 10 | OK | OK | OK | OK | OK | OK | OK |
| CL25 | 11 | OK | OK | OK | OK | OK | OK | OK |
| CL25 | 12 | OK | OK | OK | OK | OK | OK | OK |
| CL01 | 21 | OK | OK | OK | OK | OK | OK | OK |
| CL01 | 22 | OK | OK | OK | OK | OK | OK | OK |
| CL01 | 23 | OK | OK | OK | OK | OK | OK | OK |
| CL01 | 24 | OK | OK | OK | OK | OK | OK | OK |

Tabla 3-51: Resultados del ensayo de vibración realizado en Hungría.

| Choque | | | | | | | | |
|--------|---------------|-----------------------------|-------|-------|-----------------------------|-------|-------|--|
| Modelo | Nº de muestra | Resultados sin alimentación | | | Resultados con alimentación | | | Resultado 20 operaciones alimentando a $U_n=24V$ |
| | | Eje x | Eje y | Eje z | Eje x | Eje y | Eje z | |
| CL25 | 9 | OK | OK | OK | OK | OK | OK | OK |
| CL25 | 10 | OK | OK | OK | OK | OK | OK | OK |
| CL25 | 11 | OK | OK | OK | OK | OK | OK | OK |
| CL25 | 12 | OK | OK | OK | OK | OK | OK | OK |
| CL01 | 21 | OK | OK | OK | OK | OK | OK | OK |
| CL01 | 22 | OK | OK | OK | OK | OK | OK | OK |
| CL01 | 23 | OK | OK | OK | OK | OK | OK | OK |
| CL01 | 24 | OK | OK | OK | OK | OK | OK | OK |

Tabla 3-52: Resultados del en ensayo de choque realizado en Hungría.

Además de estos resultados, se adjunta una nota en la que se explica que estando todos los tornillos apretados a su par nominal, no se detecta el desprendimiento o rotura de ninguna pieza durante los ensayos.

3.4.3. CAPACIDAD DE SOPORTAR LAS VIBRACIONES Y LOS CHOQUES.

3.4.3.1. NORMATIVA.

De la norma IEC-60077-2 [2] se extraen las condiciones necesarias para la realización del ensayo en los artículos:

9.3.4.3 Verificación de funcionamiento mecánico.

Después del ensayo descrito en 9.3.4.2, el funcionamiento mecánico se comprobará de conformidad con los requisitos indicados en 9.4.2.

9.4.2. Funcionamiento mecánico.

A falta de requisitos específicos, la prueba consistirá en comprobar, 20 veces en sucesión, que el componente funciona correctamente en las siguientes condiciones:

- La temperatura del aire ambiente de la zona de ensayo.
- No existe ninguna corriente en el circuito principal.
- Se aplica la tensión de control nominal.
- Presión de aire nominal (para los componentes neumáticos).

9.3.4.4 Verificación de ensayo dieléctrico.

Después de la verificación descrita en 9.3.4.3, las muestras deberán ser capaces de soportar el ensayo dieléctrico, descritos en 9.3.3.5.

9.3.3.5 Verificación de las propiedades dieléctricas.

Después del ensayo descrito el componente será capaz de soportar los ensayos dieléctricos necesarios como prueba de rutina descritos en 9.3.3.3 de las normas IEC 60077-1 [1], pero con los valores de tensión del ensayo reducidos al 75%.

3.4.3.2. INTERPRETACIÓN DE LA NORMATIVA ANTERIOR.

Tal como marca la norma IEC-60077-2 [2] después de las pruebas de vibración y choque se debe comprobar que los contactores siguen operando en perfectas condiciones y mantienen todas su propiedades dieléctricas.

Para la comprobación de la correcta operación de los contactores se debe alimentar 20 veces en sucesión al contactor a su tensión nominal y comprobar que cierra fiablemente. Esta prueba como se puede apreciar en los resultados de la Tabla 3-51y de la Tabla 3-52 ya ha sido realizada en el laboratorio de Hungría.

En lo que respecta a la verificación de las propiedades dieléctricas se debe realizar la misma prueba que se ha hecho a la finalización del ensayo de durabilidad mecánica y eléctrica, en la que se comprueban las propiedades dieléctricas tal y como se ha hecho en el capítulo 3.3.3. del presente proyecto pero con los valores de tensión de ensayo reducidos al 75%.

3.4.3.3. ENSAYOS REALIZADOS Y RESULTADOS OBTENIDOS.

Como se expone anteriormente la verificación del funcionamiento mecánico de los contactores ha sido realizada en el laboratorio de Hungría dando unos resultados totalmente positivos, en cambio las muestras devueltas no han pasado la verificación de las propiedades dieléctricas, por ello se deben realizar la pruebas pertinentes.

Los valores de tensión y los puntos donde se debe aplicar esa tensión se recuerdan a continuación evitando así tener que retroceder en la lectura del proyecto.

Con el contactor cerrado se aplican 2625V:

1. Entre todos los terminales conectados juntos incluyendo el circuito auxiliar, en caso de tenerlo y tierra.
2. Entre la fase R y todas las demás fases conectadas a tierra.
3. Entre la fase S y todas las demás fases conectadas a tierra.
4. Entre la fase T y todas las demás fases conectadas a tierra
5. Entre el circuito auxiliar (si lo posee) y todas las fases conectadas a tierra.
6. Entre el terminal de entrada del circuito auxiliar (solo si es NC) y su terminal de salida y tierra.

Con el contactor abierto se aplican 2325V:

7. Entre todos los terminales de entrada del circuito principal y circuito auxiliar (solo si es NO) unidos y todos los terminales de salida unidos y tierra.
8. Entre los terminales de alimentación de la bobina y todos los terminales conectados a tierra.

Todos estos casos se realizan con un tiempo de rampa, $T_{\text{rampa}}=10$ segundos, un tiempo de ensayo, $T_{\text{ensayo}}=60$ segundos y una corriente de fuga máxima de 10 mA.

Los resultados de la verificación de las propiedades dieléctricas en los puntos anteriormente citados son los que reflejan la Tabla 3-53.

| MUESTRA | | RESULTADOS DE LA VERIFICACIÓN DE LAS PROPIEDADES DIELÉCTRICAS. | | | | | | | |
|---|----|--|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
| | | Caso 1 | Caso 2 | Caso 3 | Caso 4 | Caso 5 | Caso 6 | Caso 7 | Caso 8 |
| CL25 | 9 | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ | - | ✓ | ✓ |
| CL25 | 10 | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ | - | ✓ | ✓ |
| CL25 | 11 | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ | - | ✓ | ✓ |
| CL25 | 12 | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ | - | ✓ | ✓ |
| CL01 | 21 | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ |
| CL01 | 22 | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ |
| CL01 | 23 | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ |
| CL01 | 24 | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ |
| Leyenda: ✓ = positivo, X = negativo, - = no ensayado. | | | | | | | | | |

Tabla 3-53: Resultados del ensayo de verificación de las propiedades dieléctricas tras los ensayos de vibración y choque para los modelos CL25 y CL01.

A la vista de los resultados totalmente positivos obtenidos en los 3 puntos de esta secuencia de ensayos II, se debe proceder a la comprobación de los puntos de la siguiente secuencia. En caso contrario, un fallo en alguno de los contactores ya sea mecánico o de propiedades dieléctricas causadas por la vibración o el choque hubieran invalidado la homologación que se está realizando en el presente proyecto.

3.5. SECUENCIA DE ENSAYOS III.

3.5.1. CORRIENTES CRÍTICAS.

3.5.1.1. NORMATIVA.

De la norma IEC. 60077-2 [2] se extrae el artículo:

9.3.5 Corrientes críticas.

Este ensayo se refiere a la búsqueda de las corrientes críticas de corriente continua de las categorías A1 y A2 de acuerdo a las definiciones que figuran en 5.5.

Esta prueba se llevará a cabo para:

- Una tensión de ensayo igual a la tensión nominal de funcionamiento.
- Un rango de corrientes desde la nominal de funcionamiento hasta cero.
- Las dos constantes de tiempo evaluado T1 y T3.

5.5 Categoría de componente.

Hay varias categorías de componentes:

- A1: dispositivos de conmutación de circuitos auxiliares o circuitos de baja tensión, independientemente de su control, excepto los componentes con control manual (por ejemplo, relés, contactores auxiliares y sus accesorios, etc.)
- A2: dispositivos de conmutación de circuitos de potencia (los contactores de potencia), con independencia de la naturaleza de su control, excepto los componentes con control manual.

NOTA – Los principales disyuntores están cubiertos por su propia norma de producto (véase las norma IEC 60077-3 [8]).

- A3: Control manual de los dispositivos de conmutación (por ejemplo, interruptores, pulsadores para los equipos de control, etc.)
- A4: Conmutadores manuales que no funcionan bajo carga (por ejemplo, seccionador, etc.)
- B: Los demás componentes no incluidos en el apartado anterior.

3.5.1.2. INTERPRETACIÓN DE LA NORMATIVA ANTERIOR.

Como se puede leer en el punto 9.3.5. este ensayo trata de buscar las corrientes críticas de corriente continua, debido a que los contactores a homologar no van a tener un uso con corriente continua no se realiza ningún tipo de análisis de la normativa anterior.

3.5.1.3. ENSAYOS REALIZADOS Y RESULTADOS OBTENIDOS.

Este ensayo no es aplicable para conmutadores de corriente alterna como es este caso, por ello no se realiza ningún tipo de ensayo.

3.6. SECUENCIA DE ENSAYOS IV.

3.6.1. CONDICIONES CLIMÁTICAS.

3.6.1.1. NORMATIVA.

Este ensayo consta de varias pruebas con diferentes condiciones climáticas cada una de ellas, estas pruebas deben ser superadas por las muestras de contactores disponibles para ello. Las condiciones a las que se deben someter las muestras son las descritas por los artículos de la norma IEC. 60077-2 [2]:

9.3.6 Condiciones climáticas.

Esta secuencia incluye los exámenes complementarios que se enumeran a continuación y que se llevarán a cabo de acuerdo con el método correspondiente de la normas IEC 60068-2-1 (frío) [9], IEC 60068-2-2 (calor seco) [10], IEC 60068-2-3 (calor húmedo) [11] e IEC 60068-2-52 (niebla salina, prueba cíclica) [12].

Las condiciones de funcionamiento durante los ensayos y los criterios de aceptación de la prueba se indican en la especificación de prueba de acuerdo entre el fabricante y el usuario. A falta de criterios de aceptación específica, el componente deberá ser capaz de llevar a cabo las pruebas de funcionamiento mecánico (véase 9.4.2).

Una muestra nueva se debe utilizar para cada prueba. Sin embargo, la misma muestra, se podrán utilizar de nuevo, si se considera como nueva después de su reacondicionamiento.

En esta última parte del proyecto se decide explicar primeramente toda la normativa referente a los ensayos que comprende la Secuencia IV de condiciones climáticas, seguidamente se analiza dicha normativa y por último se procede a mostrar los ensayos realizados y resultados obtenidos. Se decide proceder de esta manera ya que, aunque son ensayos con condiciones climáticas distintas, la forma de ensayar las muestras es similar y las pruebas de verificación después de cada ensayo son las mismas.

FRÍO.

Referente a la prueba ambiental de FRÍO, la norma IEC 60068-2-1 (frío) [9] dice en sus artículos:

5.2 Prueba Ab: Frío sin disipación de calor con un cambio gradual de temperatura.

5.2.1 Objetivo.

Este procedimiento está destinado a dispositivos sin disipador de calor los cuales son sometidos a una baja temperatura durante un tiempo lo suficientemente largo como para lograr la estabilidad de temperatura.

5.2.2 Descripción general.

La muestra se introduce en la cámara, que está a la temperatura ambiente del laboratorio. La temperatura se ajusta a la apropiada para el grado de severidad, como se especifica en el pliego de condiciones correspondiente. Después de que la temperatura se estabilice, la muestra estará expuesta a estas condiciones durante el tiempo especificado. Normalmente se utiliza para esta prueba una circulación de aire a alta velocidad.

6.6 Condiciones.

Las condiciones, como la temperatura y la duración de la exposición, deberán ser fijadas por el pliego de condiciones correspondiente.

Serán las siguientes:

- Elegidas entre los valores indicados en la Tabla 3-54 y la Tabla 3-55 de los puntos 6.6.1 y 6.6.2 respectivamente.
- Derivadas del conocimiento del medio en el que trabajará el dispositivo, si esto supone valores diferentes.
- Procedentes de otras fuentes conocidas de datos pertinentes.

6.6.1 Temperatura.

| | | | |
|--------|--------|--------|-------|
| -65 °C | -40° C | -20° C | +5° C |
| -55° C | -35° C | -10° C | |
| -50° C | -25° C | -5° C | |

Tabla 3-54: Valores de temperatura para el ensayo de frío.

6.6.2 Duración.

| | |
|------|------|
| 2 h | 72 h |
| 16 h | 96 h |

Tabla 3-55: Valores de tiempo para el ensayo de frío.

6.8 Medidas iniciales.

El estado inicial de la muestra, deberá ser conocido. Esto puede lograrse mediante una inspección visual y / o pruebas funcionales como lo exige el pliego de condiciones correspondiente.

6.9 Acondicionamiento.

La muestra se expone a las condiciones de bajas temperaturas durante la duración del ensayo, como se detalla en el pliego de condiciones correspondiente.

6.11 Temperatura final de rampa.

Si la muestra permanece en estado de funcionamiento o de carga durante la prueba, será desactivada antes de que la temperatura se eleve, con la excepción de los ensayos. Al final del ensayo, la muestra permanecerá en la cámara y la temperatura se elevará gradualmente hasta un valor situado dentro de los límites de la atmósfera exterior. La tasa de cambio de temperatura dentro de la cámara no será superior a 1 °C por minuto, como promedio y de no más de 5 min.

6.12 Recuperación.

La muestra podrá ser sometida a un procedimiento de recuperación en la cámara o de otro tipo si se considera adecuado. Pueden ser adoptadas las medidas adecuadas para eliminar las gotas de agua, según sea necesario, sin dañar la muestra.

La muestra deberá permanecer bajo condiciones atmosféricas estándar para la recuperación un período adecuado para el logro de la estabilidad de temperatura, como mínimo 1 h.

Si es requerido por la especificación pertinente, la muestra deberá estar encendida y bajo carga de forma continua durante el período de recuperación.

6.13 Medidas finales.

Las muestras deberán ser inspeccionadas visualmente, y se harán los controles de rendimiento que se requieran por la especificación.

CALOR SECO.

Referente a la prueba ambiental de CALOR SECO, la norma [10] IEC 60068-2-2 (calor seco) dice en sus artículos:

5.2 Prueba Bb: Calor seco sin disipación de calor con un cambio gradual temperatura.

5.2.1 Objetivo.

Este procedimiento está destinado a dispositivos sin disipador de calor los cuales son sometidos a una menor temperatura durante un tiempo lo suficientemente largo como para lograr la estabilidad de temperatura.

5.2.2 Descripción general.

La muestra se introduce en la cámara, que está a temperatura ambiente del laboratorio. La temperatura se ajusta a la temperatura apropiada para el grado de severidad, como se especifica en el pliego de condiciones correspondiente. Después de que la temperatura se estabilice, la muestra estará expuesta a estas condiciones durante el tiempo especificado. Normalmente se utiliza para esta prueba una circulación de aire a alta velocidad.

6.5 Condiciones.

6.5.1 General.

Las condiciones, como la temperatura y la duración de la exposición, deberán ser fijadas en el pliego de condiciones correspondiente y serán:

- a) Elegidos entre los valores indicados en la Tabla 3-56 y la Tabla 3-57 de los 6.5.2 y 6.5.3 respectivamente.
- b) Derivados del conocimiento del medio en el que trabajará el dispositivo, si esto supone valores diferentes.
- c) Procedentes de otras fuentes conocidas de datos pertinentes.

6.5.2 Temperatura.

| | | | |
|----------|---------|--------|--------|
| +1000 °C | +250 °C | +85 °C | +45 °C |
| +800 °C | +200 °C | +70 °C | +40 °C |
| +630 °C | +175 °C | +65 °C | +35 °C |
| +500 °C | +155 °C | +60 °C | +30 °C |
| +400 °C | +125 °C | +55 °C | |
| +315 °C | +100 °C | +50 °C | |

Tabla 3-56: Valores de temperatura para el ensayo de calor seco.

6.5.3 Duración.

| | | | |
|------|------|-------|--------|
| 2 h | 72 h | 168 h | 336 h |
| 16 h | 96 h | 240 h | 1000 h |

Tabla 3-57: Valores de tiempo para el ensayo de calor seco.

6.7 Medidas iniciales.

El estado inicial de la muestra, deberá ser conocido. Esto puede lograrse mediante una inspección visual, y / o pruebas funcionales como lo exige el pliego de condiciones correspondiente.

6.8 Acondicionamiento.

6.8.1 Condiciones estables.

La muestra deberá estar expuesta a las altas condiciones de temperatura durante la duración del ensayo, como se detalla en el pliego de condiciones correspondiente.

6.8.2 Humedad absoluta.

La humedad absoluta no deberá exceder de 20 g de vapor de agua por metro cúbico de aire (correspondientes a aproximadamente el 50% de humedad relativa a 35 °C) la humedad relativa no excederá el 50%.

6.10 Temperatura final de rampa.

Si la muestra permanece en estado de funcionamiento o de carga durante la prueba, será desactivada antes de que la temperatura se eleve.

Al final del ensayo, la muestra permanecerá en la cámara y la temperatura se bajará gradualmente a un valor situado dentro de los límites de la atmósfera exterior. La tasa de cambio de temperatura dentro de la cámara no será superior a 1 °C por minuto, como promedio y de no más de 5 min.

6.11 Recuperación.

La muestra podrá ser sometida a un procedimiento de recuperación en la cámara o de otro tipo si se considera adecuado. Pueden ser adoptadas las medidas adecuadas para eliminar las gotas de agua, según sea necesario, sin dañar la muestra.

La muestra deberá permanecer bajo condiciones atmosféricas estándar para la recuperación un período adecuado para el logro de la estabilidad de temperatura, con un mínimo de 1 h.

Si es requerido por la especificación pertinente, la muestra deberá estar encendida y bajo carga de forma continua durante el período de recuperación.

6.13 Medidas finales.

Las muestras deberán ser inspeccionadas visualmente, y se harán los controles de rendimiento que se requieran por la especificación.

CALOR HÚMEDO.

Referente a la prueba ambiental de CALOR HÚMEDO, la norma IEC 60068-2-3 (calor húmedo) [11] dice en sus artículos:

1. Prueba Ca: Calor húmedo, estado estacionario.

1.1. Objetivo.

El objetivo es determinar la idoneidad de los componentes, equipos y demás artículos de uso y almacenamiento en condiciones de alta humedad relativa. Esta prueba está destinada principalmente a permitir la observación de los efectos de la alta humedad a temperatura constante durante un plazo prescrito.

2. Pruebas en cámara climática.

2.1 La cámara se programará de forma que:

- 1) La temperatura y la humedad de la cámara son controlados por sensores situados en el espacio de trabajo.
- 2) La temperatura y la humedad relativa en el espacio de trabajo debe mantenerse a 40 ± 2 ° C y $93 \pm 3\%$, respectivamente.
- 3) El agua condensada es continuamente drenada de la cámara y no se utilizará de nuevo hasta que haya sido re-purificada.

4) Cuando las condiciones de humedad son obtenidas mediante una cámara con algún tipo de inyección, el agua deberá tener una resistencia de no menos de 500 mΩ.

2.2 Se tomarán precauciones para asegurar que:

- 1) Las condiciones que prevalecen en todo el espacio de trabajo son uniformes y son lo más similar posible a las existentes en las inmediaciones de los dispositivos de control.
- 2) Las propiedades de carga o de la muestra objeto de ensayo no influyen en las condiciones de la cámara.
- 3) No hay agua condensada en las paredes o techo de la cámara de prueba que puedan caer sobre las muestras.

3. Procedimiento de ensayo.

3.1 Medidas iniciales.

La muestra deberá ser inspeccionada visualmente y de forma mecánica y eléctricamente, como lo exige el pliego de condiciones correspondiente.

3.2 Acondicionamiento.

La muestra se introduce en la cámara en el estado marcado en las correspondientes especificaciones. En el momento de introducir la muestra en la cámara, debe tenerse cuidado para evitar la formación de gotas de agua sobre la muestra. Esto se puede hacer pre-calentando la muestra y la temperatura de la cámara.

La muestra se introduce en la cámara y se somete a uno de los grados de severidad reflejados en la Tabla 3-58.

| |
|---------|
| 4 días |
| 10 días |
| 21 días |
| 56 días |

Tabla 3-58: Posible duración del ensayo de Calor Húmedo.

4. Recuperación.

Al finalizar el ensayo, la muestra se someterá a las condiciones atmosféricas del exterior de la cámara para la recuperación en no menos de 1 hora y no más de 2 h.

La muestra puede ser transferida a otra cámara para la recuperación o puede permanecer en la cámara de calor húmedo, dependiendo de la naturaleza de la muestra y / o la capacidad de los laboratorios de ensayo. En el primer caso, el paso del tiempo en el traslado será lo más breve posible y no deberá exceder de 5 minutos. En este último caso, la humedad relativa se reduce a entre 73% y 77% en no más de 2 h, después de lo

cual la temperatura deberá ser ajustada con precisión de ± 1 °C de la temperatura de laboratorio en no más de 1 h.

En el pliego de condiciones correspondiente se indicará si se deben adoptar precauciones especiales con respecto a la eliminación de la humedad superficial.

5. Medidas finales.

Las muestras deberán ser inspeccionadas visualmente, y se harán los controles de rendimiento que se requieran por la especificación.

CÁMARA DE NIEBLA SALINA. ENSAYO CÍCLICO.

Referente a la prueba ambiental de CALOR SECO, la norma IEC 60068-2-52 (Cámara de niebla salina. Ensayo cíclico) [12] dice en sus artículos:

1. Ámbito de aplicación.

La aplicación de esta prueba está destinada a los componentes o equipos que están diseñados para soportar una atmósfera cargada de sal, dependiendo de la severidad elegida. La sal puede degradar el rendimiento de las piezas fabricadas con materiales metálicos y / o materiales no metálicos.

El mecanismo de corrosión de la sal en los materiales metálicos es electroquímico, mientras que los efectos de degradación experimentados en materiales no metálicos son causados por complejas reacciones químicas de las sales con los materiales involucrados. La velocidad a la que se lleva a cabo la acción corrosiva depende, en gran medida, del suministro de oxígeno a la solución de sal, de la superficie de la muestra de la prueba, de la temperatura de la muestra y de la temperatura y la humedad del medio ambiente.

Aparte de los efectos corrosivos, esta prueba se puede utilizar para indicar el deterioro de algunos materiales no metálicos por la asimilación de sales. En los siguientes métodos de ensayo, el período de exposición con la solución de sal es suficiente para empapar la muestra completamente.

Severidad (1) y (2) están destinadas para probar los productos que se utilizan en un entorno marino, o en estrecha proximidad con el mar. Severidad (1) debe ser utilizada para probar los productos que están expuestos al medio ambiente en gran parte de su vida útil (por ejemplo, los buques de radar, equipos de cubierta). Severidad (2) debe ser utilizada para probar los productos que pueden estar expuestos al medio marino de vez en cuando, pero normalmente estarán protegidos por una caja (por ejemplo, equipo de navegación que se utilizan normalmente en el puente o en una sala de control).

Además, la severidad (1) y (2) se utilizan por lo general en el ensayo de corrosión para procedimientos de aseguramiento de la calidad de los componentes.

Severidad (3) a (6) están destinados a productos que, bajo condiciones normales de uso, es frecuente un cambio entre atmósfera cargada de sal y la atmósfera seca, por ejemplo, automóviles y sus partes.

3. Descripción general de la prueba.

Para severidad (1) y (2), el procedimiento de ensayo se divide en un número determinado de períodos de exposición a niebla salina a una temperatura entre 15 ° C y 35 ° C, cada uno de ellos seguido de un período de almacenamiento bajo condiciones de 40 °C ± 2 °C de temperatura y 93 ± 1% de humedad relativa.

Para severidad (3), (4), (5) y (6) el procedimiento de ensayo está dividido en un determinado número de ciclos de prueba. Cada ciclo de prueba consta de cuatro períodos de exposición a niebla salina a una temperatura entre 15 ° C y 35 ° C, seguidos por un período de almacenamiento bajo condiciones de 40 °C ± 2 °C de temperatura y 93 ± 1% de humedad relativa. Por último después de estos cuatro periodos se dejan las muestras almacenadas bajo una atmosfera de 23 °C ± 2 °C de temperatura y entre 45% y 55 % de humedad relativa.

Si el período de pulverización y período de almacenamiento se llevan a cabo en diferentes salas, se debe tener cuidado para evitar la pérdida de depósitos de solución de sal de la muestra y para evitar cualquier daño a la muestra, debido a la manipulación.

El modelo no se energiza nunca durante el período de rociamiento, y con normalidad tampoco durante el período de almacenamiento.

5. Solución de sal.

5.1 Solución al 5% de cloruro sódico (NaCl).

La sal utilizada para el ensayo será de alta calidad, cloruro de sodio (NaCl) que contenga menos del 0,1% de yoduro de sodio y menos del 0,3% del total de impurezas.

La concentración de la solución de sal será del 5% ± 1% en peso.

La solución se preparará disolviendo 5 ± 1 partes en peso de sal en 95 partes por peso de agua destilada o desmineralizada.

NOTA - Las especificaciones pueden pedir otras soluciones de sal, composición y características (densidad, pH, etc.) diferentes, por ejemplo, para simular los efectos especiales de un medio ambiente marino.

6. Severidad.

El pliego de condiciones correspondiente deberá indicar cuál de los seis grados de severidad se utiliza:

Severidad (1): cuatro periodos de pulverización, de 2 h cada uno, con un periodo de almacenamiento con humedad de siete días después de cada uno.

Severidad (2): tres periodos de pulverización, de 2 h cada uno, con un periodo de almacenamiento con humedad de 20 h a 22 h después de cada uno.

Severidad (3): un ciclo de pruebas consistente en: Cuatro periodos, cada uno de 2 horas, con un período de almacenamiento con humedad de entre 20 y 22 h después de cada uno, por último un período de almacenamiento de tres días bajo una atmósfera de ensayo con $23\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 2\text{ }^{\circ}\text{C}$ y del 45% al 55% de humedad relativa.

Gravedad (4): dos ciclos de prueba, tal como se especifica en la gravedad (3).

Gravedad (5): cuatro ciclos de prueba, tal como se especifica en la gravedad (3).

Severidad (6): ocho ciclos de prueba, tal como se especifica en la gravedad (3).

10 Recuperación (al final de la prueba).

En el pliego de condiciones correspondiente se indicará si la muestra tiene que ser lavada. Si la muestra se lava, se lava con agua destilada o desmineralizada, la temperatura del agua utilizada para el lavado no deberá superar los $35\text{ }^{\circ}\text{C}$.

Finalmente la muestra se sacudirá con la mano o con un aparato de aire para quitar las gotas de agua, y por último se dejarán las muestras bajo las condiciones atmosféricas del laboratorio más 1 hora y menos de 2 h.

11 Medidas finales.

La muestra deberá ser inspeccionada de forma visual, mecánica y eléctrica.

El pliego de condiciones correspondiente deberá proporcionar los criterios según los cuales la muestra se acepta o se rechaza.

3.3.1.2. INTERPRETACIÓN DE LA NORMATIVA ANTERIOR.

Tras la extracción y lectura de los artículos de las normas IEC 60068-2-1 [9], IEC 60068-2-2 [10], IEC 60068-2-3 [11] y IEC 60068-2-52 [12], necesarios para la realización de los ensayos y la verificación de las pruebas, se muestra un resumen más claro de todo lo anterior ya que se puede simplificar extrayendo las condiciones a cumplir en cada prueba.

Las pruebas que debe cumplir cada muestra después de sufrir las condiciones ambientales exigidas son las mismas para los 4 ensayos realizados. Primeramente cada muestra debe realizar 20 operaciones mecánicas alimentado su bobina a la tensión nominal, estos cierres deben producirse de forma fiable. En segundo lugar después de realizar satisfactoriamente las 20 operaciones mecánicas, cada contactor debe superar la verificación de sus propiedades dieléctricas con los valores de tensión reducidos al 75% tal y como marca el punto 9.3.3.5. de la norma IEC 60077-2 [2].

Debido al orden en el que se hacen los ensayos se utilizará para toda la secuencia las mismas muestras siempre y cuando los resultados del ensayo anterior sean satisfactorios, ya que la única prueba que puede llegar a ser destructiva es el exigido por la norma IEC 60068-2-52 [12] de niebla salina.

Lo más importante de la normativa anterior son las condiciones que se deben cumplir en cada ensayo, por este motivo se resumen a continuación en la Tabla 3-59, Tabla 3-60, Tabla 3-61 y la Tabla 3-62 para los ensayos de frío, calor seco, calor húmedo y niebla salina, respectivamente.

| ENSAYO DE FRÍO | | | | | | | | | | |
|-------------------------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|----|----|
| Temperatura (°C) | -65 | -55 | -50 | -40 | -35 | -25 | -20 | -10 | -5 | +5 |
| Humedad (%) | - | - | - | - | - | - | - | - | - | |
| Tiempo (horas) | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 |
| | 16 | 16 | 16 | 16 | 16 | 16 | 16 | 16 | 16 | 16 |
| | 72 | 72 | 72 | 72 | 72 | 72 | 72 | 72 | 72 | 72 |
| | 96 | 96 | 96 | 96 | 96 | 96 | 96 | 96 | 96 | 96 |

Tabla 3-59: Condiciones a cumplir en el ensayo de frío.

El resto de condiciones para la realización del ensayo deben ser:

- Las muestras deben permanecer desactivadas y sin ningún tipo de carga.
- Al finalizar el ensayo las muestras deben permanecer en la cámara y la temperatura se elevará gradualmente sin que ésta suba más de 1°C por minuto.
- Al llegar a las condiciones de temperatura externas a la cámara, es decir, a la temperatura del laboratorio, las muestras deben permanecer un tiempo mínimo de 1 hora para lograr la estabilidad térmica.
- Durante el periodo de recuperación, si es requerido las muestras pueden estar alimentadas y / o bajo carga.

Tras sufrir las condiciones climáticas macadas se deben verificar las pruebas mecánicas y de propiedades dieléctricas que se han mencionado al principio de este punto.

| ENSAYO DE CALOR SECO | | | | | | | | | |
|-----------------------------|-------|-------|------|------|------|------|------|-------|------|
| Temperatura (°C) | +1000 | | +100 | +85 | +70 | +65 | +60 | | +30 |
| Humedad (%) | <50 | <50 | <50 | <50 | <50 | <50 | <50 | <50 | <50 |
| Tiempo (horas) | 1000 | 1000 | 1000 | 1000 | 1000 | 1000 | 1000 | 1000 | 1000 |
| | 336 | 336 | 336 | 336 | 336 | 336 | 336 | 336 | 336 |
| | 240 | 240 | 240 | 240 | 240 | 240 | 240 | 240 | 240 |
| | 168 | 168 | 168 | 168 | 168 | 168 | 168 | 168 | 168 |
| | 96 | 96 | 96 | 96 | 96 | 96 | 96 | 96 | 96 |
| | 72 | 72 | 72 | 72 | 72 | 72 | 72 | 72 | 72 |
| | 16 | 16 | 16 | 16 | 16 | 16 | 16 | 16 | 16 |
| | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 |

Tabla 3-60: Condiciones a cumplir en el ensayo de calor seco.

El resto de condiciones para la realización del ensayo deben ser:

- Las muestras deben permanecer desactivadas y sin ningún tipo de carga.
- Al finalizar el ensayo las muestras deben permanecer en la cámara y la temperatura se reducirá gradualmente sin que ésta baje más de 1°C por minuto.
- Si en la muestra aparecen gotas de agua pueden ser eliminadas sin producir daños a la misma.
- Al llegar a las condiciones de temperatura externas a la cámara, es decir, a la temperatura del laboratorio, las muestras deben permanecer un tiempo mínimo de 1 hora para lograr la estabilidad térmica.
- Durante el periodo de recuperación, si es requerido las muestras pueden estar alimentadas y / o bajo carga.

Tras sufrir las condiciones climáticas macadas se deben verificar las pruebas mecánicas y de propiedades dieléctricas que se han mencionado al principio de este punto.

| ENSAYO DE CALOR HÚMEDO | | | | | | | | | |
|-------------------------------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| Temperatura (°C) | 40±2 | 40±2 | 40±2 | 40±2 | 40±2 | 40±2 | 40±2 | 40±2 | 40±2 |
| Humedad (%) | 93+3 | 93+3 | 93+3 | 93+3 | 93+3 | 93+3 | 93+3 | 93+3 | 93+3 |
| Tiempo (días) | 4 | 4 | 4 | 4 | 4 | 4 | 4 | 4 | 4 |
| | 10 | 10 | 10 | 10 | 10 | 10 | 10 | 10 | 10 |
| | 21 | 21 | 21 | 21 | 21 | 21 | 21 | 21 | 21 |
| | 56 | 56 | 56 | 56 | 56 | 56 | 56 | 56 | 56 |

Tabla 3-61: Condiciones a cumplir en el ensayo de calor húmedo.

El resto de condiciones para la realización del ensayo deben ser:

- El agua de la cámara tendrá una resistencia de más de 500 mΩ y debe ser continuamente drenada y no reutilizada.
- Las muestras deben permanecer desactivadas y sin ningún tipo de carga.

- No debe haber agua condensada que pueda caer sobre las muestras desde las paredes o techos de la cámara climática.
- Al finalizar el ensayo las muestras deben permanecer en la cámara y la temperatura se reducirá gradualmente sin que ésta baje más de 1°C por minuto y la humedad se reducirá a entre el 73% y 77% en menos de 2 horas.
- Al llegar a las condiciones de temperatura y humedad externas a la cámara, es decir, a la temperatura del laboratorio, las muestras deben permanecer un tiempo mínimo de 1 hora para lograr la estabilidad térmica.

Tras sufrir las condiciones climáticas macadas se deben verificar las pruebas mecánicas y de propiedades dieléctricas que se han mencionado al principio de este punto.

| ENSAYO EN CÁMARA DE NIEBLA SALINA, ENSAYO CÍCLICO. | | | | | |
|--|--------------------------------|-----------------------------------|-----------------------|-----------------------------------|---------------------|
| Severidad | Tiempo de pulverización | Tiempo de almacenamiento 1 | Nº de periodos | Tiempo de almacenamiento 2 | Nº de ciclos |
| 1 | 2 h | 7 días | 4 | - | - |
| 2 | 2 h | De 20 a 22 h | 3 | - | - |
| 3 | 2 h | De 20 a 22 h | 4 | 3 días | 1 |
| 4 | 2 h | De 20 a 22 h | 4 | 3 días | 2 |
| 5 | 2 h | De 20 a 22 h | 4 | 3 días | 4 |
| 6 | 2 h | De 20 a 22 h | 4 | 3 días | 8 |
| Condiciones durante el tiempo de pulverización: - Temperatura: entre 15 °C y 35°C. Condiciones durante el tiempo de almacenamiento 1: - Temperatura: 40 °C ± 2°C. - Humedad: 93% ± 1% Condiciones durante el tiempo de almacenamiento 2: - Temperatura: 23 °C ± 2°C - Humedad: entre 45% y 55% | | | | | |

Tabla 3-62: Condiciones a cumplir en el ensayo en la cámara de niebla salina, ensayo cíclico.

El resto de condiciones para la realización del ensayo deben ser:

- La solución de la cámara de NaCl y agua destilada debe tener 5% ± 1% en peso.
- Las muestras deben permanecer desactivadas y sin ningún tipo de carga durante el ensayo.
- Al finalizar el ensayo las muestras se pueden lavar con agua destilada siempre y cuando la temperatura no sea superior a 35 °C.
- Finalmente la muestra se puede sacudir con la mano o con aire para quitar las gotas de agua y se dejará entre 1 y 2 horas bajo las condiciones atmosféricas de laboratorio.

Tras sufrir las condiciones climáticas macadas se deben verificar las pruebas mecánicas y de propiedades dieléctricas que se han mencionado al principio de este punto.

3.3.1.3. ENSAYOS REALIZADOS Y RESULTADOS OBTENIDOS

Tras el estudio de la normativa se comprende que los ensayos a realizar tratan de comprobar la capacidad que tienen los contactores de soportar condiciones climáticas adversas. Se deben someter a las muestras a 4 ensayos con diferentes condiciones de temperatura y humedad. En el último caso además de temperatura y humedad el contactor debe soportar la pulverización de una solución salina al 5% en peso de NaCl.

Después de cada ensayo se va a verificar que el contactor, tras sufrir las condiciones climáticas y cumpliendo el tiempo de recuperación marcado en cada norma, es capaz de superar de nuevo el ensayo de propiedades dieléctricas al 75%.

El material necesario para la realización de este ensayo de condiciones climáticas es el siguiente:

Cámara climática

Cámara de niebla salina.

Varios litros de disolución de agua destilada con 5% en peso de NaCl.

1 Fuente variable de tensión.

4 muestras del contactor modelo CL25 (72 V)

4 muestras del contactor modelo CL01 (72 V)

Todo el material anteriormente citado para la prueba de rigidez dieléctrica.

Las muestras utilizadas para esta secuencia son las 4 restantes de cada modelo, con una bobina de tensión nominal $U_N=72$ V, la numeración es la que se detalla en la Tabla 3-63.

| Muestras para la realización de la Secuencia de ensayos IV | | | | | |
|--|---------------|-----------------|--------|---------------|-----------------|
| Modelo | Nº de muestra | Tensión nominal | Modelo | Nº de muestra | Tensión nominal |
| CL25 | 5 | 72 V | CL01 | 17 | 72 V |
| CL25 | 6 | 72 V | CL01 | 18 | 72 V |
| CL25 | 7 | 72 V | CL01 | 19 | 72 V |
| CL25 | 8 | 72 V | CL01 | 20 | 72 V |

Tabla 3-63: Muestras utilizadas en los ensayos de la Secuencia IV.

Inicialmente se deben elegir las condiciones exactas con las que se van a ensayar las muestras en cada una de las pruebas de esta última secuencia. Como se ha visto en la normativa a aplicar, hay diferentes tipos de condiciones a cumplir, algunas tienen valores fijos con una pequeña tolerancia y otras están acotadas dentro de un rango o hay que elegir las entre una serie de opciones. Estas condiciones son las que se deben introducir en la programación de la cámara climática. La cámara es la misma que se ha utilizado anteriormente para otros ensayos como se puede ver en la Figura 3-24 y la programación se efectúa desde la pantalla táctil que va adosada a la puerta.



Figura 3-24: Cámara climática para el ensayo de condiciones climáticas.

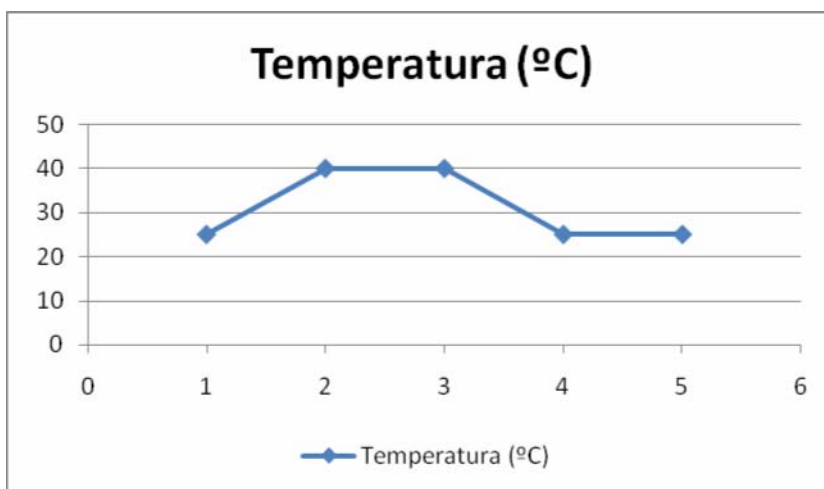
FRÍO:

En primer lugar para el ensayo de frío las condiciones están reflejadas en la Tabla 3-59, de todas las combinaciones posibles se decide declarar y ensayar con una temperatura de -40 °C durante un tiempo de 96 horas. La programación de la cámara climática es sencilla pero queda fuera del alcance de este proyecto, simplemente se debe introducir los datos para cumplir la normativa y las condiciones declaradas. Idealmente y para una temperatura ambiente en el laboratorio de 25 °C los datos a introducir son los de la Tabla 3-64.

| Datos para el ensayo de frío | | | | | |
|-------------------------------------|----|-----|------|------|------|
| Punto de programación | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 |
| Temperatura (°C) | 25 | -40 | -40 | 25 | 25 |
| Tiempo (minutos) | 0 | 65 | 5825 | 5890 | 5950 |

Tabla 3-64: Datos a introducir en la programación de la cámara climática para el ensayo de frío.

En la Gráfica 3-4 aparece la evolución de la temperatura en cada punto de programación, la proporción con el tiempo no es real para que se pueda apreciar mejor cada punto.



Gráfica 3-4: Temperatura en los puntos de programación para el ensayo de frío.

Tras someter a las 4 muestras del modelo CL25 y a las otras 4 del modelo CL01 a estas condiciones, se prueba que su operatividad mecánica sigue siendo la correcta y se verifican sus propiedades dieléctricas. Los resultados son los siguientes:

| Modelo | Nº de muestra | Resultado 20 op. alimentado a $U_N=72V$ | Modelo | Nº de muestra | Resultado 20 op. alimentado a $U_N=72V$ |
|--------|---------------|---|--------|---------------|---|
| CL25 | 5 | OK | CL01 | 17 | OK |
| CL25 | 6 | OK | CL01 | 18 | OK |
| CL25 | 7 | OK | CL01 | 19 | OK |
| CL25 | 8 | OK | CL01 | 20 | OK |

Tabla 3-65: Resultados de operatividad mecánica después del ensayo de frío.

Con el contactor cerrado se aplican 2625V:

1. Entre todos los terminales conectados juntos incluyendo el circuito auxiliar, en caso de tenerlo y tierra.
2. Entre la fase R y todas las demás fases conectadas a tierra.
3. Entre la fase S y todas las demás fases conectadas a tierra.
4. Entre la fase T y todas las demás fases conectadas a tierra.
5. Entre el circuito auxiliar (si lo posee) y todas las fases conectadas a tierra.
6. Entre el terminal de entrada del circuito auxiliar (solo si es NC) y su terminal de salida y tierra.

Con el contactor abierto se aplican 2325V:

7. Entre todos los terminales de entrada del circuito principal y circuito auxiliar (solo si es NO) unidos y todos los terminales de salida unidos y tierra.
8. Entre los terminales de alimentación de la bobina y todos los terminales conectados a tierra.

Todos estos casos se realizan con un tiempo de rampa, $T_{\text{rampa}}=10$ segundos, un tiempo de ensayo, $T_{\text{ensayo}}=60$ segundos y una corriente de fuga máxima de 10 mA.

Los resultados de la verificación de las propiedades dieléctricas en los puntos anteriormente citados son los que reflejan la Tabla 3-66.

| MUESTRA | | RESULTADOS DE LA VERIFICACIÓN DE LAS PROPIEDADES DIELÉCTRICAS. | | | | | | | |
|---------|----|--|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
| | | Caso 1 | Caso 2 | Caso 3 | Caso 4 | Caso 5 | Caso 6 | Caso 7 | Caso 8 |
| CL25 | 5 | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ | - | ✓ | ✓ |
| CL25 | 6 | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ | - | ✓ | ✓ |
| CL25 | 7 | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ | - | ✓ | ✓ |
| CL25 | 8 | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ | - | ✓ | ✓ |
| CL01 | 17 | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ |
| CL01 | 18 | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ |
| CL01 | 19 | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ |
| CL01 | 20 | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ |

Leyenda: ✓ = positivo, X = negativo, - = no ensayado.

Tabla 3-66: Resultados del ensayo de verificación de las propiedades dieléctricas tras el ensayo de frío para los modelos CL25 y CL01.

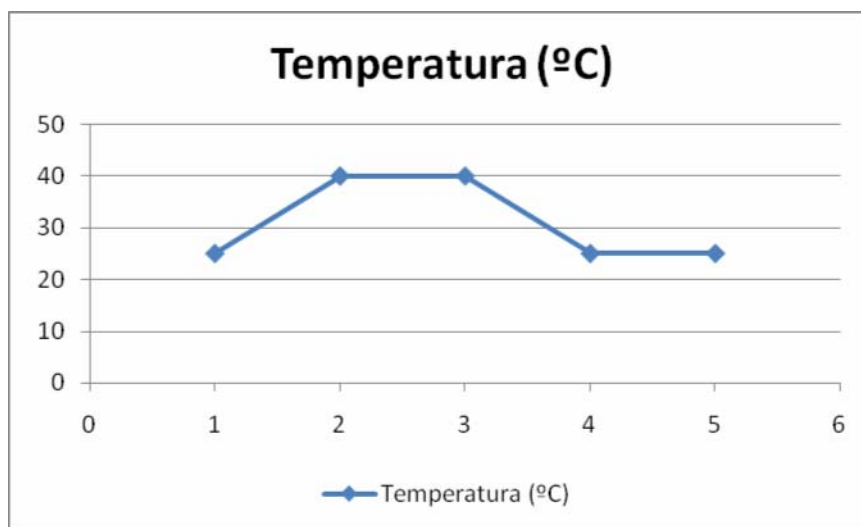
CALOR SECO:

En segundo lugar para el ensayo de calor seco las condiciones están reflejadas en la Tabla 3-60, de todas las combinaciones posibles se decide declarar y ensayar con una temperatura de 70 °C durante un tiempo de 96 horas. Idealmente y para una temperatura ambiente en el laboratorio de 25 °C los datos a introducir son los de la Tabla 3-67.

| Datos para el ensayo de calor seco | | | | | |
|------------------------------------|----|----|------|------|------|
| Punto de programación | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 |
| Temperatura (°C) | 25 | 70 | 70 | 25 | 25 |
| Tiempo (minutos) | 0 | 45 | 5805 | 5850 | 5910 |

Tabla 3-67: Datos a introducir en la programación de la cámara climática para el ensayo de calor seco.

En la Gráfica 3-5 aparece la evolución de la temperatura en cada punto de programación, la proporción con el tiempo no es real para que se pueda apreciar mejor cada punto.



Gráfica 3-5: Temperatura en los puntos de programación para el ensayo de calor seco.

Tras someter a las 4 muestras del modelo CL25 y a las otras 4 del modelo CL01 a estas condiciones, se prueba que su operatividad mecánica sigue siendo la correcta y se verifican sus propiedades dieléctricas. Los resultados son los siguientes:

| Modelo | Nº de muestra | Resultado 20 op. alimentado a $U_N=72V$ | Modelo | Nº de muestra | Resultado 20 op. alimentado a $U_N=72V$ |
|--------|---------------|---|--------|---------------|---|
| CL25 | 5 | OK | CL01 | 17 | OK |
| CL25 | 6 | OK | CL01 | 18 | OK |
| CL25 | 7 | OK | CL01 | 19 | OK |
| CL25 | 8 | OK | CL01 | 20 | OK |

Tabla 3-68: Resultados de operatividad mecánica después del ensayo de calor seco.

Con el contactor cerrado se aplican 2625V:

1. Entre todos los terminales conectados juntos incluyendo el circuito auxiliar, en caso de tenerlo y tierra.
2. Entre la fase R y todas las demás fases conectadas a tierra.
3. Entre la fase S y todas las demás fases conectadas a tierra.
4. Entre la fase T y todas las demás fases conectadas a tierra.
5. Entre el circuito auxiliar (si lo posee) y todas las fases conectadas a tierra.
6. Entre el terminal de entrada del circuito auxiliar (solo si es NC) y su terminal de salida y tierra.

Con el contactor abierto se aplican 2325V:

7. Entre todos los terminales de entrada del circuito principal y circuito auxiliar (solo si es NO) unidos y todos los terminales de salida unidos y tierra.

8. Entre los terminales de alimentación de la bobina y todos los terminales conectados a tierra.

Todos estos casos se realizan con un tiempo de rampa, $T_{\text{rampa}}=10$ segundos, un tiempo de ensayo, $T_{\text{ensayo}}=60$ segundos y una corriente de fuga máxima de 10 mA.

Los resultados de la verificación de las propiedades dieléctricas en los puntos anteriormente citados son los que reflejan la Tabla 3-69.

| MUESTRA | | RESULTADOS DE LA VERIFICACIÓN DE LAS PROPIEDADES DIELÉCTRICAS. | | | | | | | |
|---------|----|--|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
| | | Caso 1 | Caso 2 | Caso 3 | Caso 4 | Caso 5 | Caso 6 | Caso 7 | Caso 8 |
| CL25 | 5 | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ | - | ✓ | ✓ |
| CL25 | 6 | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ | - | ✓ | ✓ |
| CL25 | 7 | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ | - | ✓ | ✓ |
| CL25 | 8 | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ | - | ✓ | ✓ |
| CL01 | 17 | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ |
| CL01 | 18 | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ |
| CL01 | 19 | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ |
| CL01 | 20 | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ |

Legenda: ✓ = positivo, X = negativo, - = no ensayado.

Tabla 3-69: Resultados del ensayo de verificación de las propiedades dieléctricas tras el ensayo de calor seco para los modelos CL25 y CL01.

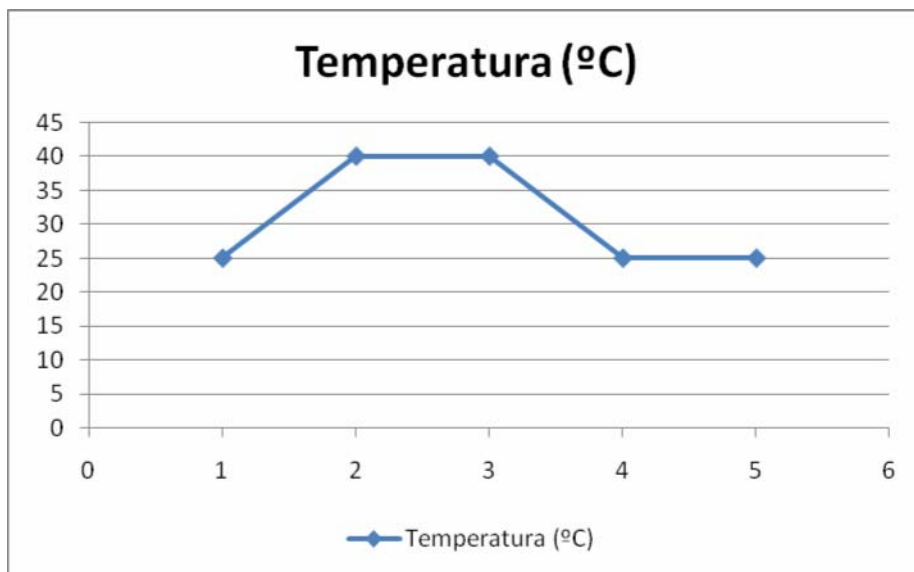
CALOR HÚMEDO:

En tercer lugar para el ensayo de calor húmedo las condiciones están reflejadas en la Tabla 3-61, de todas las combinaciones posibles se decide declarar y ensayar con una temperatura de 40 °C y una humedad relativa del 93% durante un tiempo de 4 días o lo que es lo mismo 96 horas. Idealmente y para una temperatura ambiente en el laboratorio de 25 °C y una humedad relativa en el ambiente del 55% los datos a introducir son los de la Tabla 3-70.

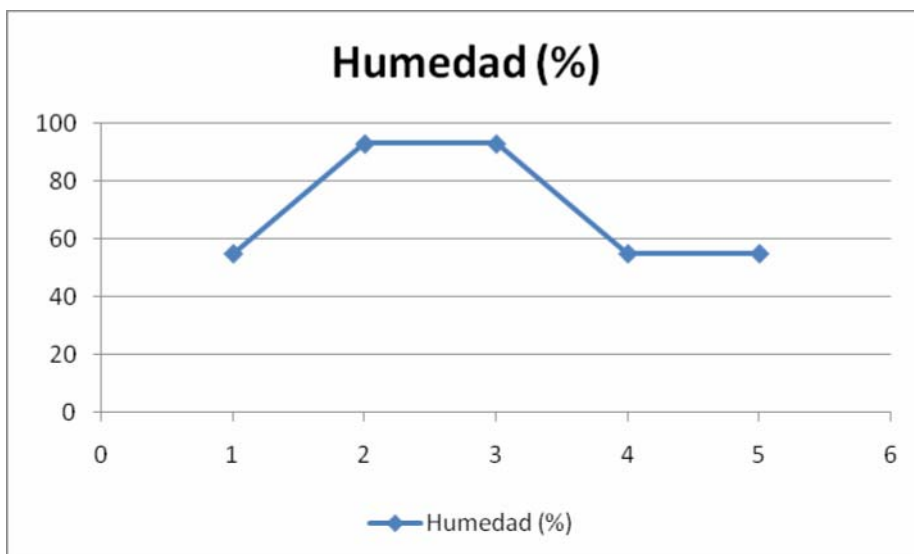
| Datos para el ensayo de calor seco | | | | | |
|------------------------------------|----|----|------|------|------|
| Punto de programación | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 |
| Temperatura (°C) | 25 | 40 | 40 | 25 | 25 |
| Humedad (%) | 55 | 93 | 93 | 55 | 55 |
| Tiempo (minutos) | 0 | 15 | 5775 | 5790 | 5850 |

Tabla 3-70: Datos a introducir en la programación de la cámara climática para el ensayo de calor seco.

En la Gráfica 3-6 y la Gráfica 3-7 aparece la evolución de la temperatura y de la humedad, respectivamente en cada punto de programación, la proporción con el tiempo no es real para que se pueda apreciar mejor cada punto.



Gráfica 3-6: Temperatura en los puntos de programación para el ensayo de calor húmedo.



Gráfica 3-7: Humedad relativa en los puntos de programación para el ensayo de calor húmedo.

Tras someter a las 4 muestras del modelo CL25 y a las otras 4 del modelo CL01 a estas condiciones, se prueba que su operatividad mecánica sigue siendo la correcta y se verifican sus propiedades dieléctricas. Los resultados son los siguientes:

| Modelo | Nº de muestra | Resultado 20 op. alimentado a $U_N=72V$ | Modelo | Nº de muestra | Resultado 20 op. alimentado a $U_N=72V$ |
|--------|---------------|---|--------|---------------|---|
| CL25 | 5 | OK | CL01 | 17 | OK |
| CL25 | 6 | OK | CL01 | 18 | OK |
| CL25 | 7 | OK | CL01 | 19 | OK |
| CL25 | 8 | OK | CL01 | 20 | OK |

Tabla 3-71: Resultados de operatividad mecánica después del ensayo de calor húmedo.

Con el contactor cerrado se aplican 2625V:

1. Entre todos los terminales conectados juntos incluyendo el circuito auxiliar, en caso de tenerlo y tierra.
2. Entre la fase R y todas las demás fases conectadas a tierra.
3. Entre la fase S y todas las demás fases conectadas a tierra.
4. Entre la fase T y todas las demás fases conectadas a tierra.
5. Entre el circuito auxiliar (si lo posee) y todas las fases conectadas a tierra.
6. Entre el terminal de entrada del circuito auxiliar (solo si es NC) y su terminal de salida y tierra.

Con el contactor abierto se aplican 2325V:

7. Entre todos los terminales de entrada del circuito principal y circuito auxiliar (solo si es NO) unidos y todos los terminales de salida unidos y tierra.
8. Entre los terminales de alimentación de la bobina y todos los terminales conectados a tierra.

Todos estos casos se realizan con un tiempo de rampa, $T_{\text{rampa}}=10$ segundos, un tiempo de ensayo, $T_{\text{ensayo}}=60$ segundos y una corriente de fuga máxima de 10 mA.

Los resultados de la verificación de las propiedades dieléctricas en los puntos anteriormente citados son los que reflejan la Tabla 3-72.

| MUESTRA | | RESULTADOS DE LA VERIFICACIÓN DE LAS PROPIEDADES DIELÉCTRICAS. | | | | | | | |
|---------|----|--|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
| | | Caso 1 | Caso 2 | Caso 3 | Caso 4 | Caso 5 | Caso 6 | Caso 7 | Caso 8 |
| CL25 | 5 | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ | - | ✓ | ✓ |
| CL25 | 6 | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ | - | ✓ | ✓ |
| CL25 | 7 | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ | - | ✓ | ✓ |
| CL25 | 8 | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ | - | ✓ | ✓ |
| CL01 | 17 | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ |
| CL01 | 18 | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ |
| CL01 | 19 | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ |
| CL01 | 20 | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ |

Legenda: ✓ = positivo, X = negativo, - = no ensayado.

Tabla 3-72: Resultados del ensayo de verificación de las propiedades dieléctricas tras el ensayo de calor húmedo para los modelos CL25 y CL01.

NIEBLA SALINA. ENSAYO CÍCLICO:

Para el ensayo de cámara de las condiciones están reflejadas en la Tabla 3-62, de todas las combinaciones posibles se decide declarar y ensayar con una con las condiciones de severidad 2, ya que es casi el ensayo más agresivo.

Este ensayo se realiza conjuntamente en la cámara climática usada en el resto de los ensayos de la secuencia y en la cámara de niebla salina que muestra la Figura 3-25.

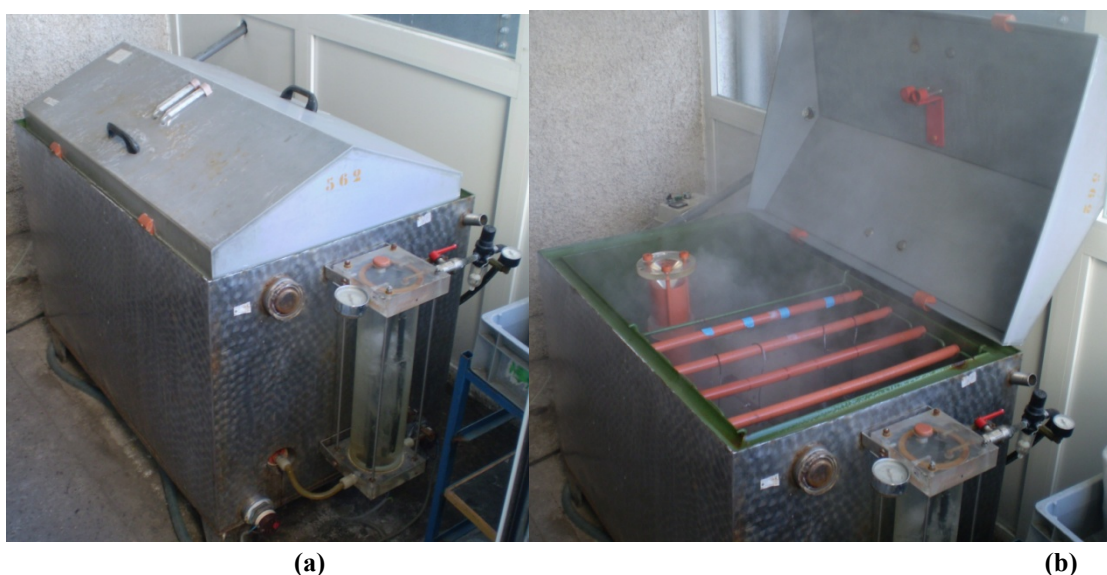


Figura 3-25: Cámara de niebla salina. (a) Cámara cerrada (b) Cámara abierta en funcionamiento.

El grado elegido para este ensayo es el de severidad 2 y exige 3 ciclos de 2 horas en niebla salina y 22 horas bajo las condiciones de 40 °C de temperatura y 93% de humedad relativa. Como se puede apreciar las condiciones en la cámara climática para este grado de severidad son las mismas que para el ensayo ya realizado de calor húmedo, la diferencia es que la duración total y programación pasa de 96 a 22 horas, por tanto se puede retroceder para consultar los puntos de programación variando únicamente los tiempos.

Tras someter a las 4 muestras del modelo CL25 y a las otras 4 del modelo CL01 a estas condiciones, se prueba que su operatividad mecánica sigue siendo la correcta y se verifican sus propiedades dieléctricas. Los resultados son los siguientes:

| Modelo | Nº de muestra | Resultado 20 op. alimentado a $U_N=72V$ | Modelo | Nº de muestra | Resultado 20 op. alimentado a $U_N=72V$ |
|--------|---------------|---|--------|---------------|---|
| CL25 | 5 | OK | CL01 | 17 | OK |
| CL25 | 6 | OK | CL01 | 18 | OK |
| CL25 | 7 | OK | CL01 | 19 | OK |
| CL25 | 8 | OK | CL01 | 20 | OK |

Tabla 3-73: Resultados de operatividad mecánica después del ensayo niebla salina.

Con el contactor cerrado se aplican 2625V:

1. Entre todos los terminales conectados juntos incluyendo el circuito auxiliar, en caso de tenerlo y tierra.
2. Entre la fase R y todas las demás fases conectadas a tierra.
3. Entre la fase S y todas las demás fases conectadas a tierra.
4. Entre la fase T y todas las demás fases conectadas a tierra.
5. Entre el circuito auxiliar (si lo posee) y todas las fases conectadas a tierra.
6. Entre el terminal de entrada del circuito auxiliar (solo si es NC) y su terminal de salida y tierra.

Con el contactor abierto se aplican 2325V:

7. Entre todos los terminales de entrada del circuito principal y circuito auxiliar (solo si es NO) unidos y todos los terminales de salida unidos y tierra.
8. Entre los terminales de alimentación de la bobina y todos los terminales conectados a tierra.

Todos estos casos se realizan con un tiempo de rampa, $T_{\text{rampa}}=10$ segundos, un tiempo de ensayo, $T_{\text{ensayo}}=60$ segundos y una corriente de fuga máxima de 10 mA.

Los resultados de la verificación de las propiedades dieléctricas en los puntos anteriormente citados son los que reflejan la Tabla 3-74.

| MUESTRA | | RESULTADOS DE LA VERIFICACIÓN DE LAS PROPIEDADES DIELÉCTRICAS. | | | | | | | |
|---|----|--|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
| | | Caso 1 | Caso 2 | Caso 3 | Caso 4 | Caso 5 | Caso 6 | Caso 7 | Caso 8 |
| CL25 | 5 | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ | - | ✓ | ✓ |
| CL25 | 6 | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ | - | ✓ | ✓ |
| CL25 | 7 | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ | - | ✓ | ✓ |
| CL25 | 8 | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ | - | ✓ | ✓ |
| CL01 | 17 | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ |
| CL01 | 18 | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ |
| CL01 | 19 | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ |
| CL01 | 20 | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ |
| Leyenda: ✓ = positivo, X = negativo, - = no ensayado. | | | | | | | | | |

Tabla 3-74: Resultados del ensayo de verificación de las propiedades dieléctricas tras el ensayo de calor húmedo para los modelos CL25 y CL01.

En vista de todos estos resultados positivos se da por finalizada la Secuencia IV y con ella todo el proceso de homologación de estos dos modelos de contactores bajo la norma 60077 en concreto las partes [1] y [2].

4. CONCLUSIONES

En el presente proyecto se ha realizado un protocolo para homologar una serie de contactores bajo las normas IEC 60077-1 [1] e IEC 60077-2 [2]. Esta normativa hace referencia a aparatos eléctricos destinados a uso ferroviario.

El trabajo ha consistido en el análisis de los puntos referentes y/o aplicables a contactores electromagnéticos de las normas anteriormente citadas. En ocasiones, algunos de estos puntos han llevado a la consulta de otras normas que indican realmente las condiciones exigidas que debe cumplir un contactor.

Existen casos en los que se dispone de distintos valores de variables eléctricas y climáticas como pueden ser la tensión o temperatura, respectivamente. Ante esta situación, la solución en algunas ocasiones se ha tomado desde el punto de vista del fabricante y en otras ha venido de acuerdos entre el mismo y el cliente. Cada valor establecido o acordado ha sido declarado en el correspondiente informe de ensayo.

Además del análisis de la normativa a cumplir y de la redacción de un protocolo de homologación, se han realizado los ensayos pertinentes a varias muestras de dos contactores de la gama a homologar. Gracias a este trabajo simultáneo ha sido posible detectar fallos en la redacción del protocolo, y además verificar que con los equipos disponibles en el laboratorio de General Electric de Móstoles es posible la realización de todos los ensayos a excepción de la pruebas de vibración y choque.

Para facilitar el trabajo futuro se ha elaborado un plan de ensayos genérico, a seguir en el laboratorio, para homologar cualquier contactor de la gama bajo la normativa analizada. Este plan se incluye en el anexo del presente proyecto y está siendo utilizado actualmente para realizar las pruebas exigidas por la norma IEC 60077-1 [1] e IEC 60077-2 [2].

5. REFERENCIAS

- [1] Norma IEC 60077-1. Aplicaciones ferroviarias. Equipos eléctricos para el material rodante. Parte 1: condiciones de servicio y normas generales.
- [2] Norma IEC 60077-2. Aplicaciones ferroviarias. Equipos eléctricos para el material rodante. Parte 2: Componentes electrotécnicos. Reglas generales.
- [3] IEC-947-4-1 Parte 4: Contactores y arrancadores de motores.
- [4] IEC 60850. Aplicaciones ferroviarias. Tensiones de alimentación de los sistemas de tracción.
- [5] EN 50125-1: Vehículos ferroviarios, Material ferroviario, Medio Ambiente (de trabajo), equipos eléctricos, equipos y componentes electrónicos, componentes eléctricos, dispositivos electromecánicos, altura, presión atmosférica, sistemas de clasificación, los grados (de calidad), temperatura, humedad, las perturbaciones atmosféricas, lluvia, nieve, hielo, la radiación solar, la contaminación, la aceleración, armónicos, corriente alterna, alteraciones del sistema de energía eléctrica, para aplicaciones ferroviarias.
- [6] EN 50124-1: Aplicaciones ferroviarias. Coordinación de aislamiento. Parte 1: Requisitos básicos. Distancias de aislamiento y de fugas para todo tipo de equipamiento eléctrico y electrónico.
- [7] IEC 61373 Aplicaciones ferroviarias - Material rodante Equipo - Pruebas de Choque y vibración.
- [8] IEC 60077-3: Aplicaciones ferroviarias. Equipos eléctricos para el material rodante. Parte 3: Componentes electrotécnicos. Reglas para interruptores automáticos en corriente continua.
- [9] IEC 60068-2-1. Pruebas ambientales (frío).
- [10] IEC 60068-2-2 Pruebas ambientales (calor seco).
- [11] IEC 60068-2-3 Pruebas ambientales (calor húmedo).
- [12] IEC 60068-2-52 Pruebas ambientales (niebla salina, prueba cíclica).

ANEXO.

ANEXO

INFOME DE ENSAYOS

Cliente:

Fabricante:

Dispositivo:

Tipo:

Fecha de producción:

Procedimiento de ensayo:

Normas de ensayos: IEC 60077-1, IEC 60077-2, IEC 60947-4-1, IEC 61373
IEC 60068-2-1, IEC 60068-2-2, IEC 60068-2-3, IEC 60068-2-52

Resultados de ensayo:

Fechas de ensayo:

CONTENIDOS

Página

1. DESCRIPCIÓN DEL DISPOSITIVO A ENSAYAR.

| | |
|---------------------------------------|------------|
| Características del contactor. | 147 |
| Valores nominales y límites. | 147 |
| Circuito principal. | 147 |
| Circuito de control. | 147 |
| Circuitos auxiliares. | 148 |

2. SECUENCIA DE ENSAYOS I.

| | |
|---|------------|
| Limites de operación | 150 |
| Aumento de temperatura | 151 |
| Verificación de propiedades dieléctricas | 157 |
| Capacidad de rendimiento operacional | 160 |
| Verificación de propiedades dieléctricas reducidas | 162 |
| Aumento de temperatura II | 163 |

3. SECUENCIA DE ENSAYOS II.

| | |
|---|------------|
| Ensayo de vibración | 165 |
| Ensayo de shock. | 168 |
| Verificación de funcionamiento mecánico | 170 |
| Verificación de propiedades dieléctricas reducidas | 170 |

4. SECUENCIA DE ENSAYOS III.

| | |
|----------------------------|------------|
| Corrientes críticas | 172 |
|----------------------------|------------|

5. SECUENCIA DE ENSAYOS IV.

| | |
|--|------------|
| Ensayo en frío | 174 |
| Ensayo calo seco | 176 |
| Ensayo de calo húmedo | 178 |
| Ensayo de corrosión con niebla salina (Cíclico) | 180 |

1. DESCRIPCIÓN DEL DISPOSITIVO A ENSAYAR. CARACTERÍSTICAS.

1.1. Características del contactor.

Numero de polos:

Clase de corriente (a.c./d.c.):

Frecuencia nominal:

Medio de interrupción: aire

Método de operación: electromagnético

1.2. Valores nominal y límite.

1.2.1. Circuito principal.

Impulso nominal de tensión soportada (U_{imp}):

Tensión nominal de aislamiento (U_i):

Corriente térmica convencional (I_{th}):

Máxima tensión nominal de funcionamiento (U_e):

Máxima corriente nominal de funcionamiento (I_e):

1.2.2. Circuito de control.

Clase de corriente (a.c./d.c.):

Frecuencia nominal:

Tensión nominal de alimentación circuito de control (U_s):

Impulso nominal de tensión soportada (U_{imp}):

Tensión nominal de aislamiento (U_i):

Clase de aislamiento de las bobinas:

1.2.3. Circuitos auxiliares.

Numero y tipo de contactos:

Impulso de tensión nominal soportada (U_{imp}):

Tensión nominal de aislamiento (U_i):

Frecuencia nominal:

Corriente térmica convencional (I_{th}):

Máxima corriente de operación (I_e):

2. SECUENCIA DE ENSAYOS I.

2.1. Límites de operación

2.2. Aumento de temperatura

2.3. Propiedades dieléctricas

2.4. Capacidad de rendimiento operacional

2.5. Verificación de propiedades dieléctricas reducidas

2.6. Aumento de temperatura II

SECUENCIA DE ENSAYOS I.

IEC 60077-2 (9.3.1)

| Norma | Apartado | Tipo de prueba y características | Valores de prueba y resultados |
|----------------|----------------|--|---|
| 60077-2 | 9.3.3 | Características generales de actuación. | |
| 60077-2 | 9.3.3.1 | <u>Limites de operación</u> | |
| 60077-1 | 9.3.1 | Las muestras deberán operar correctamente 20 veces para cada combinación de temperatura y tensión. | Resultados de ensayo |
| 60077-1 | 8.2.1.5 | Probado como un componente alimentado desde una batería cargada flotante . Los ensayos deben ser realizados con el 1 bloque de contactos auxiliares . | Un Configuración del bloque de contactos auxiliares |
| 60077-2 | 8.2.1.a) | $T_{\text{ensayo}} = -25^{\circ}\text{C}$ (Ensayar con la bobina en frío) <ul style="list-style-type: none"> Mínima tensión de alimentación: 0,7Un Máxima tensión de alimentación: 1,25Un | T_{ensayo} Min tensión Max tensión |
| 60077-2 | 8.2.1.c.1) | $T_{\text{ambiente}} = 25^{\circ}\text{C}$ o 55°C (dependiendo de los resultados obtenidos en el ensayo de temperatura) (Tiempo de estabilización alimentando la bobina a la tensión nominal Un) $T_{\text{ensayo}} = (T_{\text{ambiente}} + 15)^{\circ}\text{C}$ (40°C o 70°C) <ul style="list-style-type: none"> Mínima tensión de alimentación: 0,7Un Máxima tensión de alimentación: 1,25Un | Tiempo de estabilización térmica T_{ensayo} Min tensión Max tensión |
| 60077-2 | 8.2.1.c.2) | $T_{\text{ambiente}} = 25^{\circ}\text{C}$ o 55°C (dependiendo de los resultados obtenidos en el ensayo de temperatura) (Tiempo de estabilización alimentando la bobina a la tensión nominal 1,1*Un) $T_{\text{ensayo}} = (T_{\text{ambiente}} + 15)^{\circ}\text{C}$ (40°C o 70°C) <ul style="list-style-type: none"> Mínima tensión de alimentación: 0,8Un Máxima tensión de alimentación: 1,25Un | Tiempo de estabilización térmica T_{ensayo} Min tensión Max tensión |

| Norma | Apartado | Tipo de prueba y características | Valores de prueba y resultados |
|---------|----------|---|---|
| 60077-2 | 9.3.3 | Características generales de actuación. | |
| 60077-2 | 9.3.3.1 | <u>Limites de operación</u> | |
| 60077-1 | 9.3.1 | Las muestras deberán operar correctamente 20 veces para cada combinación de temperatura y tensión. | Resultados de ensayo |
| 60077-1 | 8.2.1.4 | Ensayado como un componente alimentado desde un generador/alternador independiente o un convertido . Los ensayos deben ser realizados con el 1 bloque de contactos auxiliares . | Un Configuración del bloque de contactos auxiliares |
| 60077-2 | 8.2.1.a) | $T_{\text{ensayo}} = -25^{\circ}\text{C}$ (Ensayar con la bobina en frío) <ul style="list-style-type: none"> Mínima tensión de alimentación: 0,85Un Máxima tensión de alimentación : 1,1Un $T_{\text{ambiente}} = 25^{\circ}\text{C}$ o 55°C (dependiendo de los resultados obtenidos en el ensayo de temperatura) (Tiempo de estabilización alimentando la bobina a la tensión nominal Un) | T_{ensayo} Min tensión Max tensión Tiempo de estabilización térmica |
| 60077-2 | 8.2.1.b) | $T_{\text{ensayo}} = (T_{\text{ambiente}} + 15)^{\circ}\text{C}$ (40°C o 70°C) <ul style="list-style-type: none"> Mínima tensión de alimentación: 0,85Un Máxima tensión de alimentación: 1,1Un | T_{ensayo} Min tensión Max tensión |

| Norma | Apartado | Tipo de prueba y características | Valores de prueba y resultados |
|---------|----------|---|--|
| 60077-2 | 9.3.3 | Características generales de actuación. | |
| 60077-2 | 9.3.3.2 | <p><u>Ensayo de aumento de temperatura</u></p> <p>La caída de tensión en cada polo del circuito principal deberá ser medida, especialmente en los terminales y contactos principales. Esto será realizado al comienzo y al final del ensayo de aumento de temperatura.</p> <p>El ensayo deberá hacerse durante un tiempo suficiente como para que la temperatura llegue a un estado de equilibrio, no excediendo este tiempo de 8 horas. Se asume que se llega a este estado cuando la variación de temperatura no exceda de 1° C por hora.</p> | |
| 60077-1 | 8.2.2.2 | <p>-Condiciones de ensayo:</p> <p>Ensayo al aire (si/no) Ensayo con envolvente metálica (si/no)</p> <p>Temperatura ambiente Temperatura del exterior de la envolvente metálica: 25°C, máximo 40°C Temperatura del interior de la envolvente metálica: 55°C, máximo 70°C</p> | <p>Ensayo al aire Ensayo con envolvente T_{ambiente}</p> |
| 60077-1 | 8.2.2.3 | <p>-Circuito principal:</p> <p>Corriente nominal de operación Tres fases/ cuatro fases</p> | |
| 60077-1 | 9.3.2.4 | Características del conducto: | |
| 60077-1 | 9.3.2.4 | <p>**Cables: las conexiones deberán ser al aire libre (sin terminal en los extremos del cable) y con cable de cobre con un único núcleo, de una sección transversal tal que la corriente de ensayo sea igual a 0,5 veces la corriente nominal de operación del cable elegido, de acuerdo a su índice de aislamiento de temperatura.</p> | |

| | | | |
|--|--|---|---|
| | | <p>De acuerdo con la empresa cliente, los cables para material rodante ferroviario son multivarados de estaño chapado en cobre de la clase 5.</p> <p>La selección del cable debe ser con una sección transversal válida para el doble de la corriente nominal de prueba, de acuerdo con la norma EN 50355 Cuadro B,1 de 90°C nominales de los cables.</p> <p>Características del conducto: Sección transversal (mm²) Longitud (m) Par de apriete (Nm)</p> <p>Los aumentos de temperatura no deben exceder los límites especificados en la tabla 2</p> | <p>Sección transversal Longitud Par</p> <p>Resultados de ensayo</p> |
|--|--|---|---|

**Table B.1 - Examples of current ratings for standard wall cables,
with 90 °C maximum conductor operating temperature**

| Nominal conductor cross sectional area (Examples; for information only) mm ² | Current carrying capacity (effective value; one cable in air) $T_{ref} = 45\text{ °C}; T_{c(max)} = 90\text{ °C}$ d.c. or 50 Hz a.c. I_{cable} (A) |
|---|---|
| 1 | 20 |
| 1,5 | 25 |
| 2,5 | 33 |
| 4 | 46 |
| 6 | 60 |
| 10 | 85 |
| 16 | 110 |
| 25 | 150 |
| 35 | 190 |
| 50 | 240 |
| 70 | 300 |
| 95 | 360 |
| 120 | 425 |
| 150 | 490 |
| 185 | 560 |
| 240 | 675 |
| 300 | 775 |
| 400 | 950 |

La longitud del cable debe ser de 1 metro mínimo para secciones menores a 35 mm² y mínimo de 2 metros para secciones mayores a 35 mm².

| 60077-2 | 9.3.3 | Características generales de actuación. | |
|---------|----------|--|---|
| Norma | Apartado | Tipo de prueba y características | Valores de prueba y resultados |
| 60077-2 | 9.3.3.2 | <u><i>Aumento de temperatura</i></u> | |
| 60077-1 | 8.2.2.4 | <u>-Circuito principal:</u> | |
| 60077-1 | 9.3.2.2 | <p>Para bobinas electromagnéticas, el método de medida de temperatura por la variación de resistencia puede ser usado en el ensayo.</p> <p>La temperatura de las bobinas antes de empezar el ensayo no debe diferir de la media en más de 3°C.</p> <p>Para conductores de cobre, el valor de la temperatura en caliente T2 debe ser obtenido a partir del valor de la temperatura de la bobina en frío T1 como una función proporcional a la resistencia en caliente R2 de la resistencia en frío:</p> $T2 = (R2/R1) \times (T1 + 234,5) - 234,5$ <p>Donde T1 y T2 son expresadas en ° C.</p> <p>Tensión de alimentación del control nominal Us Frecuencia nominal (c.a.)</p> <p>Características del conducto:</p> <ul style="list-style-type: none"> Sección transversal (mm2) Par de apriete (Nm) <p>Temperatura del aire ambiental antes de ensayo (T1) Resistencia de la bobina antes del ensayo (R1) Temperatura del aire ambiental tras el ensayo (Ta2) Resistencia de la bobina al finalizar el ensayo (R2)</p> $\Delta T = (R2/R1) \times (T1 + 234,5) - 234,5 - Ta2$ <p>Los aumentos de temperatura no deben exceder los límites de las tablas 1, 2 y 3</p> | <p>Us Hz</p> <p>Sección transversal Par</p> <p>T1 R1 Ta2 R2</p> <p>ΔT</p> <p>Resultados de ensayos</p> |

Table 2 – Temperature-rise limits of terminals

| Terminal material | Temperature-rise limits for maximum air ambient temperature of | | Maximum temperature °C |
|--|--|---------------------------------|-------------------------------|
| | 40 °C ($T_a = 25$ °C) K | 70 °C ($T_a = 55$ °C) K | |
| Bare copper | 60 | 30 | 105 |
| Bare brass | 65 | 35 | |
| Tin-plated copper or brass | | | |
| Silver-plated or nickel-plated copper or brass | 70 (see note 2) | 40 (see note 2) | |
| Other metals | (see note 3) | | |

NOTE 1 – The temperature-rise limits are given as examples for external location with $T = 25$ °C and for internal location when the air temperature-rise due to the local losses is unknown (see 8.2.2.2 and its note). These limits apply to a new sample (see 8.2.2.1, note 1).

NOTE 2 – The terminal temperature-rise limit is based on the connection of cables, the temperature index of which is 90 °C. Other values may be necessary if the cable temperature index is different.

NOTE 3 – Temperature-rise is based on service experience or life test but is not to exceed 70 K for $T = 25$ °C (see also note 2).

| Norma | Apartado | Tipo de prueba y características | Valores de prueba y resultados |
|--------------------|----------------------|--|--------------------------------|
| 60077-2 | 9.3.3 | Características generales de actuación. | |
| 60077-2 | 9.3.3.3 | <u>Propiedades dieléctricas</u> | |
| 60077-1 60077-1 | 9.3.3 9.3.3.1 | Propiedades dieléctricas Condiciones generales Los dispositivos para ser ensayados deben ser montados en una placa de metal y todas las partes expuestas conductoras deberán ser conectadas a esta misma placa. Los actuadores o accionamientos manuales que estén fabricados de material aislante, así como las partes externas que puedan ser tocadas durante una operación normal del dispositivo deben ser recubiertas de una lámina de metal y estarán unidas a la estructura del montaje. | |
| 60077-1 60077-1 | 9.3.3.2 9.3.3.2.1 | Tipo de ensayo Verificación de la limpieza y los sólidos de aislamiento. De acuerdo con la norma EN 50124-1 | |
| 60077-1 60077-1 | 9.3.3.3 9.3.3.3.1 | Procedimiento de ensayo Condiciones generales La tensión de ensayo es aplicada progresivamente durante 10s, se mantiene durante un valor estable durante 60 s, para luego disminuir bruscamente. | |
| 60077-1 | 9.3.3.3.2 | Tensión de ensayo Tensión de aislamiento U_i Corriente de fuga 1 mA | U_i |

| | | | |
|--|--|---|---|
| | | <p>Con el contactor cerrado:</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Entre todos los terminales del circuito principal conectados juntos (incluyendo el circuito auxiliar conectado con el principal) y tierra. 2. Entre la fase R y todas las demás fases conectadas a tierra. 3. Entre la fase S y todas las demás fases conectadas a tierra. 4. Entre la fase T y todas las demás fases conectadas a tierra 5. Entre el circuito auxiliar y todas las fases conectadas a tierra. 6. Entre los terminales de entrada del circuito auxiliar y los terminales de salida del circuito auxiliar conectados al circuito principal y tierra. <p>Con el contactor abierto:</p> <ol style="list-style-type: none"> 7. Entre todos los terminales de entrada del circuito principal unidos y todos los terminales de salida unidos y tierra. 8. Entre el circuito de control y todos los terminales conectados a tierra. | <p>Tensión de ensayo</p> <p>Resultados de ensayo</p> <p>Resultados de ensayo</p> <p>Resultados de ensayo</p> <p>Resultados de ensayo</p> <p>Resultados de ensayo</p> <p>Resultados de ensayo</p> <p>Tensión de ensayo</p> <p>Resultados de ensayo</p> <p>Resultados de ensayo</p> |
|--|--|---|---|

Table 8 – Dielectric tests on single pieces of equipment

| Subject | Rated power frequency withstand voltage U_{50} for rated insulation voltage U_i | | | | | |
|---|--|---------------|--|-------------------|------------------------------------|--------------------------------------|
| | V | | | | | |
| | Up to 36 ⁽¹⁾ | From 36 to 60 | From 60 to 300 | From 300 to 660 | From 660 to 1 200 | From 1 200 to 10 000 |
| For all equipment taken singly, the dielectric test shall be applied between each circuit of a given voltage and the others and earth. | 750 | 1 000 | 1 500 | 2 500 | $2 U_i + 1 500$ | $2 U_i + 2 000$ |
| For all equipment* intended to break a circuit and taken singly, the dielectric test shall be applied between the input and output sides of the apparatus – with contacts open and arc chutes in position. * Equipment may include more than one item if this is necessary to break the circuit. | 750 | 1 000 | 1 500 | $1,6 U_i + 1 500$ | | |
| For all breaking equipment connected in parallel with a resistor, the test voltage shall be limited to 0,75 times the value mentioned, the resistor being disconnected. | 750 | 1 000 | $2 U_i + 1 000$ with a minimum of 1 500 | | | |
| For all equipment taken singly or parts electrically connected to other circuits which are not connected to the power circuit the dielectric test shall be applied between these parts and earth. | 750 | 1 000 | | | | |
| For all equipment with double insulation, the dielectric test shall be applied – between Insulated frame and earth; – between circuit and frame insulated from earth. NOTE – Where the main insulation is provided between circuit and frame insulated from earth, the test voltages are to be reversed. | | | 1 500 1 500 | 2 500 1 500 | $2 U_i + 1 500$ $1,6 U_i + 500$ | $2 U_i + 2 000$ $1,6 U_i + 1 000$ |
| NOTE 1 – For electronic equipment having a rated insulation voltage U_i of less than 36 V, the dielectric test voltage is reduced to 500 V. | | | | | | |

| Norma | Apartado | Tipo de prueba y características | Valores de prueba y resultados |
|-----------|-------------|--|---|
| 60077-2 | 9.3.3 | Características generales de actuación. | |
| 60077-2 | 9.3.3.4 | <u>Capacidad operacional</u> | |
| 60077-1 | 8.2.8 | Capacidad operacional Los requisitos específicos y las condiciones del ensayo se indicaran en el producto estándar, o en la especificación de ensayo con un acuerdo entre el fabricante y el usuario, y deben referirse a: <ul style="list-style-type: none"> - Rendimiento operacional sin carga. - Rendimiento operacional con carga. - Operación con sobre carga o en condiciones de fallo. - Durabilidad mecánica y eléctrica. | |
| | | Secuencia 1 1.- El dispositivo operará correctamente 20 veces a la tensión nominal de la bobina. | Resultados de ensayo |
| 60947-4-1 | Anexo B B.2 | 3.- Durabilidad mecánica. Los dispositivos deberán completar 1 Millón de operaciones. | Resultados de ensayo |
| 60947-4-1 | Anexo B B.3 | 4.- Durabilidad eléctrica. Los dispositivos deberán completar 4 mil operaciones. | Resultados de ensayo |
| | | -Condiciones generales: | |
| 60947-4-1 | Tabla B.1 | Ensayo al aire libre (si/no) Ensayo con envolvente metálica (si/no) Dimensiones de la envolvente metálica Categoría de utilización (AC-3/AC-4) Tensión de operación nominal U _e Corriente de operación nominal I _e Tensión de ensayo U=U _e Corriente de ensayo I=6*I _e Frecuencia nominal (Hz) Tiempo en ON Tiempo en OFF | En sayo al aire libre Ensayo en envolvente Dimensiones Categoía utilización U _e I _e U I Frecuencia Tiempo de ON Tiempo de OFF |

| Norma | Apartado | Tipo de prueba y características | Valores de prueba y resultados |
|----------------|--------------|---|--|
| 60077-2 | 9.3.3 | Características generales de actuación. | |
| Norma | Apartado | Tipo de prueba y características | Valores de prueba y resultados |
| 60947-4-1 | Anexo B B.2 | Secuencia 2. 1.- Los dispositivos deberán operar correctamente 20 veces a la tensión nominal de la bobina. 2- Durabilidad mecánica. Los dispositivos deberán completar 1 Millón de operaciones. | Resultados de ensayo Resultados de ensayo |
| 60947-4-1 | Anexo B B.3 | 3- Durabilidad eléctrica. Los dispositivos deberán completar 4 mil operaciones. | Resultados de ensayo |

| Norma | Apartado | Tipo de prueba y características | Valores de prueba y resultados |
|--------------------|----------------------|--|---|
| 60077-2 | 9.3.3 | Características generales de actuación. | |
| 60077-2 | 9.3.3.5 | <p><u>Verificación de ensayo dieléctrico.</u></p> <p>Después del ensayo descrito en 9.3.3.4.</p> <p>Igual que 9.3.3.3 de la norma IEC 60077-1, pero con la tensión de ensayo reducida al 75%.</p> | |
| 60077-1 60077-1 | 9.3.3 9.3.3.1 | <p>Propiedades dieléctricas</p> <p>Condiciones generales:</p> <p>Los dispositivos para ser ensayados deben ser montados en una placa de metal y todas las partes expuestas conductoras deberán ser conectadas a esta misma placa.</p> <p>Los actuadores o accionamientos manuales que estén fabricados de material aislante, así como las partes externas que puedan ser tocadas durante una operación normal del dispositivo deben ser recubiertas de una lámina de metal y estarán unidas a la estructura del montaje.</p> | |
| 60077-1 60077-1 | 9.3.3.2 9.3.3.2.1 | <p>Tipo de ensayo.</p> <p>Verificación de la limpieza y la asociación con el aislamiento sólido.</p> <p>De acuerdo a la norma EN 50124-1</p> | |
| 60077-1 60077-1 | 9.3.3.3 9.3.3.3.1 | <p>Procedimiento de ensayo</p> <p>Condiciones generales</p> <p>La tensión de ensayo es aplicada progresivamente durante 10s, se mantiene durante un valor estable durante 60 s, para luego disminuir bruscamente.</p> | |
| 60077-1 | 9.3.3.3.2 | <p>Tensión de ensayo.</p> <p>Tensión de aislamiento U_i Corriente de fuga 1 mA Ver tabla 8 Entre cada circuito y tierra Entre las entradas y las salidas con el contactor abierto. Resultados de ensayo (OK / NO OK)</p> | <p>U_i</p> <p>Tensión de ensayo Tensión de ensayo Resultados de ensayo</p> |

| Norma | Apartado | Tipo de prueba y características | Valores de prueba y resultados |
|---------|----------|--|--------------------------------|
| 60077-2 | 9.3.3 | Características generales de actuación. | |
| 60077-2 | 9.3.3.6 | <p><u>Verificación del ensayo de aumento de temperatura</u></p> <p>Después de la verificación descrita en 9.3.3.5, un ensayo de aumento de temperatura deberá llevarse a cabo en el circuito principal a la corriente definida y de acuerdo con las condiciones definidas en 9.3.3.2 de IEC 60077-2.</p> <p>Al comienzo del test, las caídas de tensión en los polos del circuito principal deben ser comparadas con aquellas medidas que se especifican en el punto 9.3.3.2. Si las diferencias no son significativas la verificación del aumento de temperatura puede ser suspendida, en cuyo caso los valores deben ser registrados en el informe del ensayo.</p> <p>Los valores de aumento de temperatura no deben exceder el valor especificado en las tablas 1-3 (8.2.2 de IEC 60077-1) y la tabla 2 (8.2.2 de IEC 60077-2), y ellos no deben exceder aquellos datos registrados durante el ensayo requerido en 9.3.3.2 en más de 20°C.</p> | Resultado de ensayo. |

3. SECUENCIA DE ENSAYOS II.

3.1. Vibración

3.2. Choque

3.3. Verificación de operaciones mecánicas

3.4. Verificación del ensayo dieléctrico.

| SECUENCIA DE ENSAYOS II. IEC 60077-2 (9.3.1) | | | |
|--|----------------|---|--------------------------------|
| Norma | Apartado | Tipo de prueba y características | Valores de prueba y resultados |
| 60077-2 | 9.3.4 | Capacidad de soportar las vibraciones y los choques | |
| 60077-2 | 9.3.4.1 | <u>Vibración</u> | Resultado de ensayo |
| 60077-1 | 9.3.5 | Vibración Según el método pertinente de la norma IEC 61373 | |
| IEC 61373 | 6.3.1 | Estado mecánico El contactor debe ser ensayado en posición abierta . | |
| IEC 61373 | 6.3.3 | Actuación en el ensayo Las pruebas de rendimiento se llevarán a cabo antes de comenzar, y en la finalización de todos los ensayos especificados. Los dispositivos deben operar correctamente 20 veces a la tensión nominal de la bobina. | |
| IEC 61373 | 9.3.5 | Ensayo de simulación de larga vida con niveles de vibración en aumento aleatoriamente. Categoría 1, clase B (Clase B debe ser usada cuando no está claro donde va a estar localizado el equipo a ensayar) Debido a que la posición final de la instalación de la muestra para el eje horizontal no está definido, será definido el mayor valor de la aceleración. Aceleración (RMS): <ul style="list-style-type: none"> • Vertical: 7,90 m/s² • Transversal/longitudinal: 5,50 m/s² Densidad espectral de aceleración (ASD): <ul style="list-style-type: none"> • Vertical: 1,857 (m/s²)² / Hz • Transversal/longitudinal: 0,901 (m/s²)² / Hz Rango de frecuencias: 5...150 Hz Número de ejes: 3 Duración del ensayo: 5 horas / eje (15 horas en total) | |

Table 2 – Test severity and frequency range

| Category | Orientation | RMS 5 h test period m/s ² | Frequency range (see figure) |
|------------------------------|--|--|---------------------------------|
| 1 Class A Body mounted | Vertical Transverse Longitudinal | 5,90 2,90 3,90 | 1 |
| 1 Class B Body mounted | Vertical Transverse Longitudinal | 7,90 3,50 5,50 | 2 |
| 2 Bogie mounted | Vertical Transverse Longitudinal | 42,5 37,0 20,0 | 3 |
| 3 Axle mounted | Vertical Transverse Longitudinal | 300 270 135 | 4 |

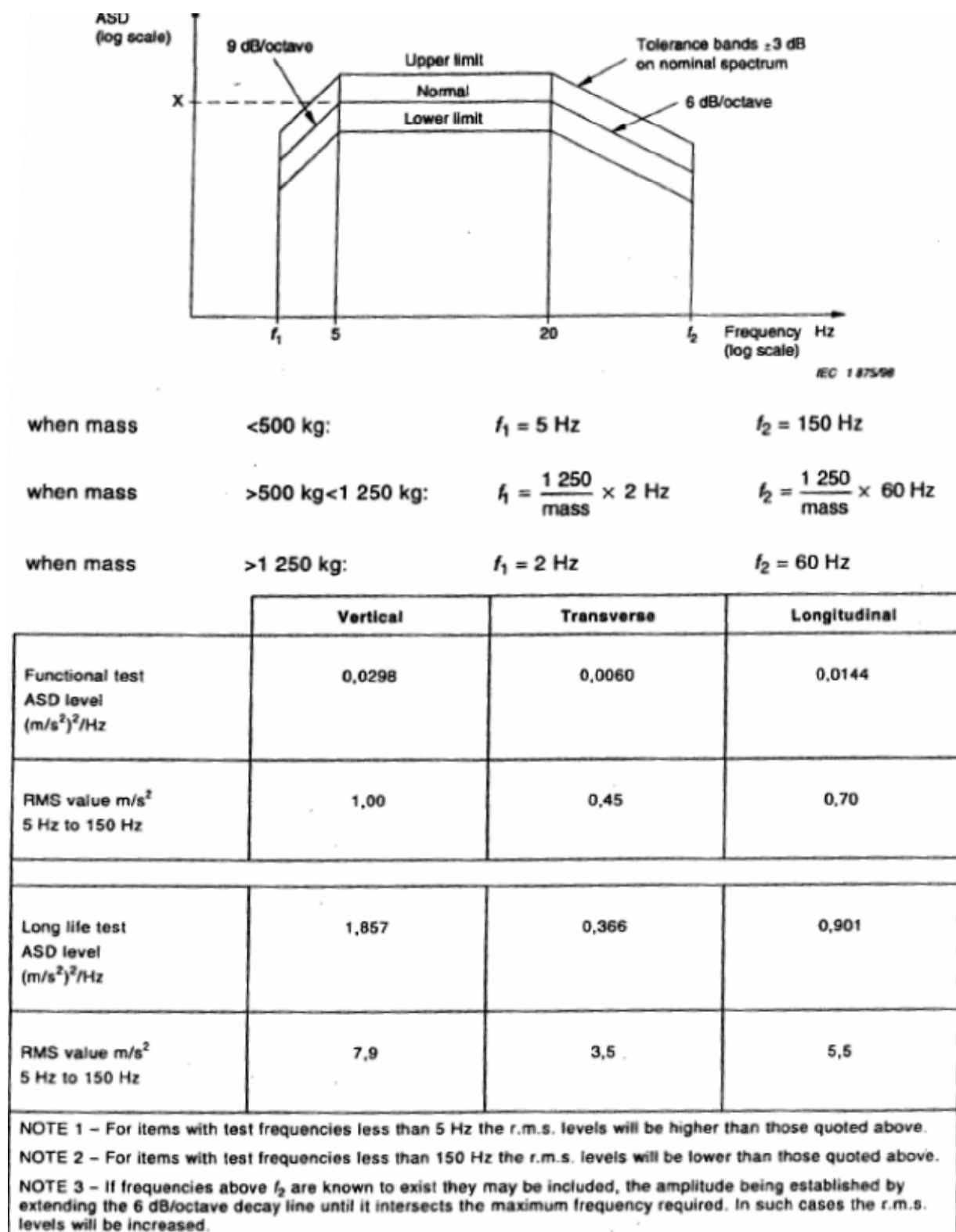
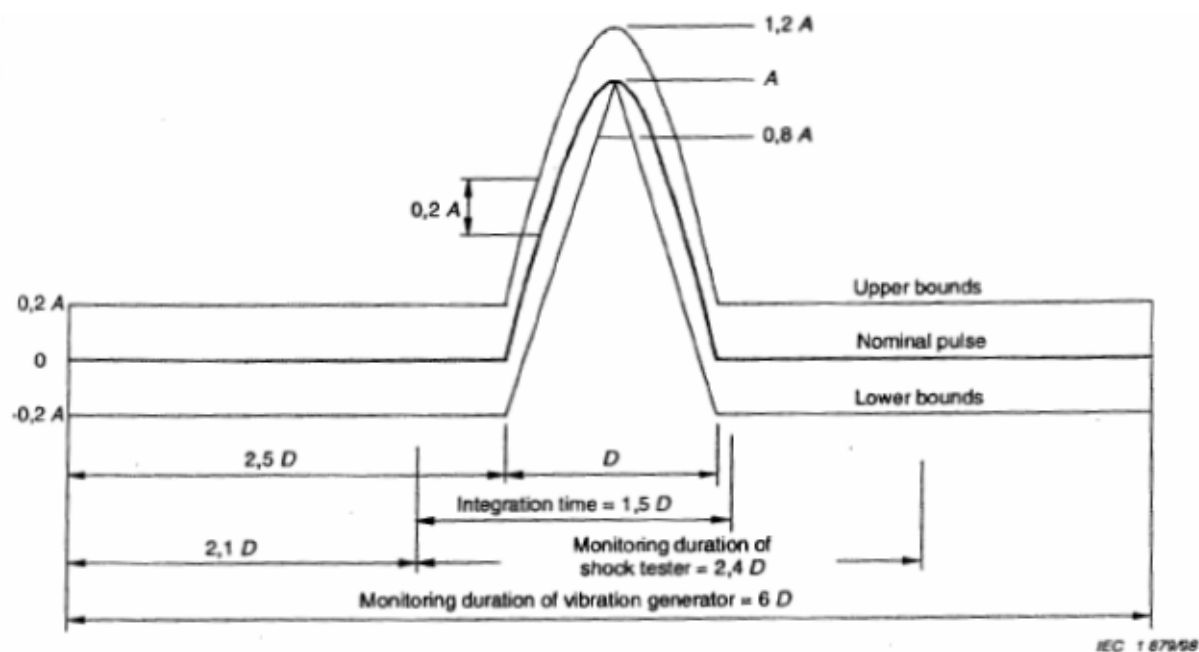


Figure 2 – Category 1 – Class B – Body-mounted – ASD spectrum

| Norma | Apartado | Tipo de prueba y características | Valores de prueba y resultados |
|-------------------------------------|-----------------------------------|---|--------------------------------|
| 60077-2 | 9.3.4 | Capacidad de soportar las vibraciones y los choques | |
| 60077-2 60077-1 IEC 61373 | 9.3.4.2 9.3.5 9.3.5 | <p><u>Choque</u></p> <p>Choque</p> <p>Según el método pertinente de la norma IEC 61373</p> <p>El contactor debe ser ensayado en posición abierta.</p> <p>El dispositivo debe operar correctamente 20 veces a la tensión nominal de la bobina.</p> <p>Condiciones del ensayo de choque.</p> <p>Categoría 1, clase B (Clase B debe ser usada cuando no está claro donde va a estar localizado el equipo a ensayar)</p> <p>Debido a que la posición final de la instalación de la muestra para el eje horizontal no está definida, será definido el mayor valor de la aceleración.</p> <p>Aceleración (pico):</p> <ul style="list-style-type: none"> • Vertical: 30 m/s² • Transversal/longitudinal: 50 m/s² <p>Duración del choque: 30 ms</p> <p>Número de ejes: 3</p> <p>Número de direcciones: 6 (±Z; ±Y;±X)</p> <p>Número de choques por dirección: 3 (18 choques en total)</p> | Resultado de ensayo |



| Category | Orientation | Peak acceleration A (m/s^2) | Nominal duration D (ms) |
|--|--------------|--------------------------------------|------------------------------|
| 1 Class A and class B Body mounted | Vertical | 30 | 30 |
| | Transverse | 30 | 30 |
| | Longitudinal | 50 | 30 |
| 2 Bogie mounted | All | 300 | 18 |
| 3 Axle mounted | All | 1 000 | 6 |

NOTE – Some category 1 equipment intended for specific applications may require additional shock testing with peak accelerations A of $30 m/s^2$ and duration D of 100 ms. In such cases these test levels should be requested and agreed prior to testing.

Figure 6 – Shock test tolerance – Bands half sine pulse

| Norma | Apartado | Tipo de prueba y características | Valores de prueba y resultados |
|---------|----------|---|--------------------------------|
| 60077-2 | 9.3.4 | Capacidad de soportar las vibraciones y los choques | |
| 60077-2 | 9.3.4.3 | <u>Verificación de operaciones mecánicas</u> | Resultados de ensayo |
| 60077-2 | 9.4.2 | Operaciones mecánicas El ensayo consiste en comprobar que los dispositivos operan correctamente 20 veces a temperatura ambiente y con la tensión nominal de la bobina . | |
| 60077-2 | 9.3.4.4 | <u>Verificación de ensayo dieléctrico</u> El dispositivo debe ser capaz de soportar el ensayo dieléctrico descrito en el apartado 9.3.3.5. Igual que el ensayo 9.3.3.3 de la norma IEC 60077-1, pero con los valores de tensión reducidos al 75% . | Resultados de ensayo |

4. Secuencia de ensayos III.

4.1. Corrientes críticas

| SECUENCIA DE ENSAYOS III. IEC 60077-2 (9.3.1) | | | |
|--|----------|--|--------------------------------|
| Norma | Apartado | Tipo de prueba y características | Valores de prueba y resultados |
| 60077-2 | 9.3.5 | Corrientes críticas | |
| 60077-2 | 9.3.5 | <p><u><i>Corrientes críticas</i></u></p> <p>Este ensayo se refiere a la búsqueda de corrientes continuas críticas conmutando las categorías A1 y A2.</p> <p>Este ensayo se llevará a cabo para:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Una tensión de ensayo será la misma que la tensión nominal de funcionamiento. - Un rango de corrientes desde la corriente nominal de funcionamiento hasta cero. - Las dos constantes de tiempo nominales T1 y T3 de acuerdo con la tabla1. <p>Este ensayo no es aplicable para conmutadores de de corriente alterna.</p> | |

5. SECUENCIA DE ENSAYO IV.

5.1. Condiciones climáticas

5.1.1. Frío

5.1.2. Calo seco

5.1.3. Calo húmedo.

5.1.4. Cámara de niebla salina, ensayo cíclico.

| SECUENCIA DE ENSAYO IV. IEC 60077-2 (9.3.1) | | | |
|--|----------|---|--------------------------------|
| Norma | Apartado | Tipo de prueba y características | Valores de prueba y resultados |
| 60077-2 | 9.3.6 | Condiciones climáticas | |
| 60077-2 | 9.3.6 | <u>Frío</u> | Resultados de ensayo |
| 60068-2-1 | | Norma IEC 60068-2-1 | |
| 60068-2-1 | 5.2 | Frío Ensayo Ab, frío sin disipación de calor con un cambio gradual de temperatura. El dispositivo se introduce dentro de la cámara climática la cual está a la misma temperatura que el laboratorio. La temperatura es ajustada entonces, con la tolerancia requerida, como especifica la norma. Después de que la temperatura se estabilice, el dispositivo queda expuesto en estas condiciones el tiempo especificado en la norma. | |
| 60068-2-1 | 6.6 | Condiciones Temperatura: -40 ± 3 °C Duración: 96 h | |
| 60068-2-1 | 6.8 | Medidas iniciales Las muestras deben ser comprobadas eléctrica y mecánicamente. Los dispositivos deben operar correctamente 20 veces a la tensión nominal. | |
| 60068-2-1 | 6.9 | Acondicionamiento La variación de la temperatura debe ser de 1° C en un tiempo comprendido entre uno y cinco minutos. Los dispositivos deben operar correctamente 20 veces a la tensión nominal. | Resultado de ensayo |

| Norma | Apartado | Tipo de prueba y características | Valores de prueba y resultados |
|----------------|--------------|--|--|
| 60077-2 | 9.3.6 | Condiciones climáticas | |
| 60068-2-1 | 6.11 | Temperatura final de rampa Al final del tiempo especificado en la norma, el dispositivo deberá permanecer en la cámara climática y la temperatura deberá ser elevada gradualmente hasta un valor dentro de los límites de la norma de las condiciones atmosféricas para el ensayo. La variación de la temperatura debe ser de 1° C en un tiempo comprendido entre uno y cinco minutos. | |
| 60068-2-1 | 6.12 | Recuperación Se pueden tomar las medidas necesarias para eliminar las gotas de agua. La muestra deberá permanecer bajo condiciones atmosféricas estándar para la recuperación durante un período adecuado para el logro de la estabilidad de temperatura, con un mínimo de 1 hora (máximo 2h). | Tiempo de recuperación |
| 60068-2-1 | 6.12 | Medidas finales Las muestras deben ser comprobadas eléctrica y mecánicamente. Los dispositivos deben operar correctamente 20 veces a la tensión nominal. Ensayo de aislamiento, igual que en el ensayo 9.3.3.3 de la norma IEC 60077-1, pero con los valores de tensión reducidos al 75%. | Resultado de ensayo Resultado de ensayo |

| Norma | Apartado | Tipo de prueba y características | Valores de prueba y resultados |
|-----------|----------|--|--------------------------------|
| 60077-2 | 9.3.6 | Condiciones climáticas | |
| 60077-2 | 9.3.6 | <u>Calo seco</u> | |
| 60068-2-2 | | Norma IEC 60068-2-2 | |
| 60068-2-2 | 5.2 | Calo seco Ensayo Bb, calo seco sin disipación de calo con un cambio gradual de temperatura. El dispositivo se introduce dentro de la cámara climática la cuál está a la misma temperatura que el laboratorio. La temperatura es ajustada entonces, con la tolerancia requerida, como especifica la norma. Después de que la temperatura se estabilice, el dispositivo queda expuesto en estas condiciones el tiempo especificado en la norma. | |
| 60068-2-2 | 6.5 | Condiciones Temperatura: 70 °C Duración: 96 h | |
| 60068-2-2 | 6.7 | Medidas iniciales Las muestras deben ser comprobadas eléctrica y mecánicamente. Los dispositivos deben operar correctamente 20 veces a la tensión nominal. | Resultado de ensayo |
| 60068-2-2 | 6.8 | Acondicionamiento La variación de la temperatura debe ser de 1° C en un tiempo comprendido entre uno y cinco minutos. Los dispositivos deben operar correctamente 20 veces a la tensión nominal. | Resultado de ensayo |

| Norma | Apartado | Tipo de prueba y características | Valores de prueba y resultados |
|----------------|--------------|--|--|
| 60077-2 | 9.3.6 | Condiciones climáticas | |
| 60068-2-2 | 6.10 | Temperatura final de rampa Al final del tiempo especificado en la norma, el dispositivo deberá permanecer en la cámara climática y la temperatura deberá ser disminuida gradualmente hasta un valor dentro de los límites de la norma de las condiciones atmosféricas para el ensayo. La variación de la temperatura debe ser de 1° C en un tiempo comprendido entre uno y cinco minutos. | |
| 60068-2-2 | 6.12 | Recuperación Se pueden tomar las medidas necesarias para eliminar las gotas de agua. La muestra deberá permanecer bajo condiciones atmosféricas estándar para la recuperación durante un período adecuado para el logro de la estabilidad de temperatura, con un mínimo de 1 hora (máximo 2h). | Tiempo de recuperación |
| 60068-2-2 | 6.13 | Medidas finales Las muestras deben ser comprobadas eléctrica y mecánicamente. Los dispositivos deben operar correctamente 20 veces a la tensión nominal. Ensayo de aislamiento, igual que en el ensayo 9.3.3.3 de la norma IEC 60077-1, pero con los valores de tensión reducidos al 75%. | Resultado de ensayo Resultado de ensayo |

| Norma | Apartado | Tipo de prueba y características | Valores de prueba y resultados |
|-----------|----------|--|--------------------------------|
| 60077-2 | 9.3.6 | Condiciones climáticas | |
| 60077-2 | 9.3.6 | <u>Calo húmedo</u> | |
| 60068-2-3 | | Norma IEC 60068-2-3 | |
| 60068-2-3 | 2 | Calo húmedo Ensayo Ca, calo húmedo sin disipación de calo con un cambio gradual de temperatura. El dispositivo se introduce dentro de la cámara climática la cuál está a la misma temperatura que el laboratorio. La temperatura es ajustada entonces, con la tolerancia requerida, como especifica la norma. Después de que la temperatura se estabilice, el dispositivo queda expuesto en estas condiciones el tiempo especificado en la norma. | |
| 60068-2-3 | 3.2.2 | Condiciones Temperatura: 40± 2 °C Humedad relativa: 93 +2%/-3% Duración: 96 h | |
| 60068-2-3 | 3.1 | Medidas iniciales Las muestras deben ser comprobadas eléctrica y mecánicamente. Los dispositivos deben operar correctamente 20 veces a la tensión nominal. | Resultado de ensayo |
| 60068-2-3 | 3.2 | Acondicionamiento Se pondrá cuidado en evitar la formación de gotas de agua sobre la muestra. Esto se puede hacer precalentando la muestra a la temperatura de la cámara. La variación de la temperatura debe ser de 1° C en un tiempo comprendido entre uno y cinco minutos. Los dispositivos deben operar correctamente 20 veces a la tensión nominal. | Resultado de ensayo |

| Norma | Apartado | Tipo de prueba y características | Valores de prueba y resultados |
|----------------|--------------|---|--|
| 60077-2 | 9.3.6 | Condiciones climáticas | |
| 60068-2-3 | 4 | Recuperación El dispositivo deberá someterse a un proceso de recuperación en la cámara climática según proceda. La muestra deberá permanecer bajo condiciones atmosféricas estándar para la recuperación durante un período adecuado para el logro de la estabilidad de temperatura, con un mínimo de 1 hora (máximo 2h). | Tiempo de recuperación |
| 60068-2-3 | 5 | La humedad relativa se reduce a entre 73% y 77% de humedad relativa en no más de media hora, tras lo cual la temperatura deberá ser ajustada a ±1°C la temperatura del laboratorio en no más de media hora. Medidas finales Las muestras deben ser comprobadas eléctrica y mecánicamente. Los dispositivos deben operar correctamente 20 veces a la tensión nominal. Ensayo de aislamiento, igual que en el ensayo 9.3.3.3 de la norma IEC 60077-1, pero con los valores de tensión reducidos al 75% . | Resultado de ensayo Resultado de ensayo |

| Norma | Apartado | Tipo de prueba y características | Valores de prueba y resultados |
|---------------------------|----------|--|---|
| 60077-2 | 9.3.6 | Condiciones climáticas | |
| 60077-2 60068-2-52 | 9.3.6 | <p><u>Cámara de niebla salina. Ensayo cíclico</u></p> <p>Norma IEC 60068-2-52</p> <p>Cámara de niebla salina. Ensayo cíclico</p> <p>Se propone condición (2).</p> <p>3 periodos de 2 horas en la cámara de niebla salina seguidos de 22 horas a 40°C y 96% de humedad relativa</p> <p>Medidas finales</p> <p>Las muestras deben ser comprobadas eléctrica y mecánicamente. Los dispositivos deben operar correctamente 20 veces a la tensión nominal.</p> <p>Ensayo de aislamiento, igual que en el ensayo 9.3.3.3 de la norma IEC 60077-1, pero con los valores de tensión reducidos al 75%.</p> | <p>Resultados de ensayo</p> <p>Resultados de ensayo</p> |